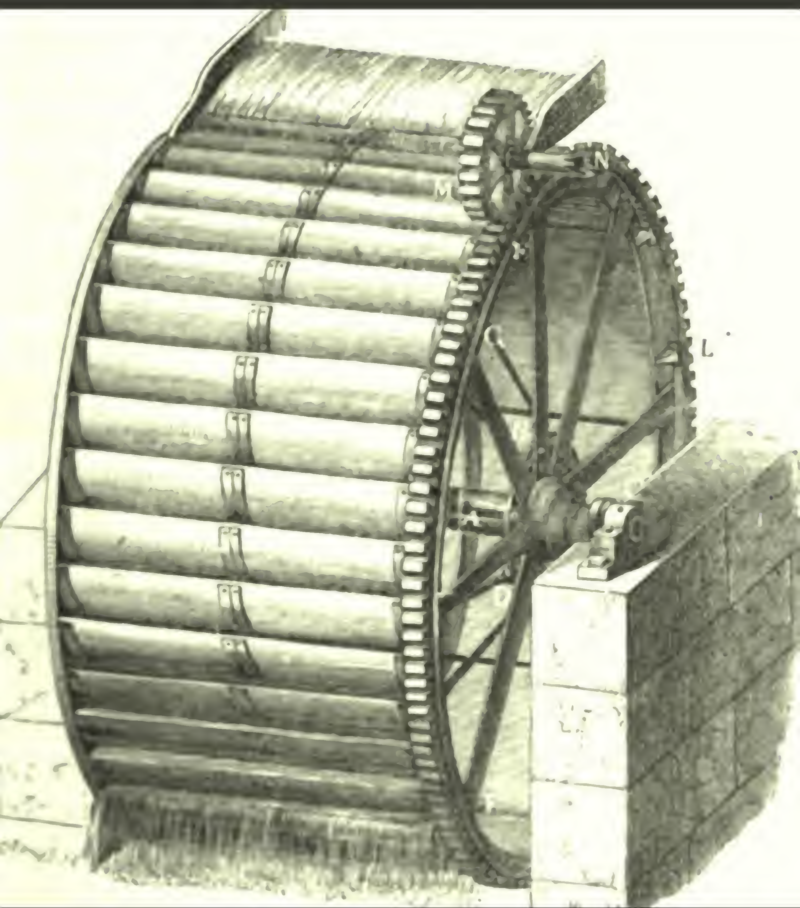
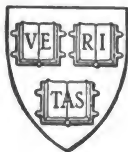


Vorträge und reden

Hermann von Helmholtz

Digitized by Google

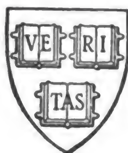
182.1.5



HARVARD
COLLEGE
LIBRARY

Digitized by Google

5 182.1.5



HARVARD
COLLEGE
LIBRARY

Digitized by Google

S 182.1.5

VORTRÄGE UND REDEN

VON

HERMANN VON HELMHOLTZ.

ZUGLEICH DRITTE AUFLAGE DER

„POPULÄREN WISSENSCHAFTLICHEN VORTRÄGE“

DES VERFASSERS.

ERSTER BAND.

MIT IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1884.

Digitized by Google

Digitized by Google

VORTRÄGE UND REDEN.

ERSTER BAND.

Digitized by Google

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Digitized by Google

VORTRÄGE UND REDEN

VON

HERMANN VON HELMHOLTZ.

ZUGLEICH DRITTE AUFLAGE DER

„POPULÄREN WISSENSCHAFTLICHEN VORTRÄGE“

DES VERFASSERS.

ERSTER BAND.

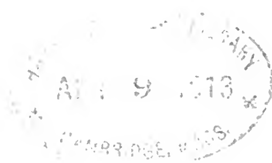
MIT IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1884.

Digitized by Google



BOUND APR 28 1914

Alle Rechte vorbehalten.

Digitized by Google

VORREDE ZUM ERSTEN BANDE.

Da wiederum eine neue Auflage der von mir früher in drei Heften herausgegebenen „Populären wissenschaftlichen Vorträge“ nöthig wurde, habe ich im Einverständniss mit dem Herrn Verleger diese Gelegenheit benutzt, um die Sammlung zu vervollständigen, was aber auch eine Veränderung ihres Titels nöthig machte. „Populär“ waren schon einige von den Vorträgen der früheren Sammlung kaum noch zu nennen, wenn auch ihnen allen, wie den neu hinzugekommenen gemeinsam bleibt, dass sie Versuche sind, die Ergebnisse mathematischer, naturwissenschaftlicher oder speciell physikalischer Forschung einem Kreise von Zuhörern und Lesern mitzutheilen, deren Studien nicht gerade in dieser besonderen Richtung gelegen haben. Dadurch sind sie von den eigentlich wissenschaftlichen Abhandlungen geschieden, die bei dem Leser volle Kenntniss aller

Digitized by Google

bisher gewonnenen Ergebnisse der betreffenden Zweige der Wissenschaft und ihrer Methoden voraussetzen.

Die vervollständigte Sammlung enthält also nicht nur alle die Aufsätze, die in den früher veröffentlichten drei Heften „Populärer wissenschaftlicher Vorträge“ enthalten waren, nebst einigen anderen gelegentlichen Vorträgen naturwissenschaftlichen Inhalts, sondern auch eine Reihe akademischer Reden, die einzeln veröffentlicht waren, und auch Vorreden, die ich für die deutschen Uebersetzungen von Werken englischer Autoren, W. Thomson und P. G. Tait, sowie J. Tyndall geschrieben hatte, weil dieselben Erörterungen über erkenntnisstheoretische Fragen und über Popularisirung der Wissenschaft enthalten, die durch ihren Inhalt mit anderen Aufsätzen dieser Sammlung in Verbindung stehen.

Da diese Aufsätze kein systematisches Ganze bilden, habe ich vorgezogen, sie chronologisch zu ordnen. Es schien mir dies auch aus dem Grunde wünschenswerth, weil dreissig Jahre wissenschaftlicher Arbeit doch schliesslich ihre Spuren in den Ueberzeugungen und Urtheilen eines Menschen zurücklassen. Ich habe nicht gerade Veranlassung gefunden, Einiges, was ich in älteren Aufsätzen gesagt hatte, zu streichen, aber ich würde Manches jetzt anders ausdrücken, wenn ich es wieder zu sagen hätte. Ich war im Beginne meiner Laufbahn ein gläubigerer Kantianer als ich jetzt bin; oder vielmehr, ich glaubte damals, dass, was ich bei Kant geändert zu sehen wünschte, unerhebliche Nebenpunkte wären, welche neben dem, was ich noch jetzt als seine Hauptleistung hochschätze, nicht in Betracht

Digitized by Google

kämen, bis ich später gefunden habe, dass sich die stricten Kantianer der jetzigen Periode hauptsächlich da festheften und da die höchste Entwickelung des Philosophen sehen, wo meines Erachtens Kant die ungenügenden Vorkenntnisse seiner Zeit und namentlich ihre metaphysischen Vorurtheile nicht ganz überwunden und das Ziel, welches er sich gesteckt hatte, nicht ganz erreicht hat.

Die chronologische Ordnung ist allerdings bei den letzten Aufsätzen beider Bände durchbrochen, weil ich mich erst spät, als der Druck des Ganzen sich schon seiner Vollendung näherte, entschlossen habe, sie aufzunehmen. Der Inhalt des kleinen Aufsatzes am Schlusse des ersten Bandes, einer Rede zum Besten von Kant's Denkmal in Königsberg i. Pr. ist in den späteren Aufsätzen über das Sehen allerdings ausführlicher und mit weiter fortgeschrittener Kenntniss der Thatsachen behandelt; aber Freunde fanden, dass er in der alten kurzen Form einfacher und leichter fasslich heraustrete. Das „Kritische“ am Ende des zweiten Bandes sind nicht eigentlich Vorträge, sondern, wie schon erwähnt, Vorreden, deren Inhalt indessen sich den Vorträgen erkenntnisstheoretischen Inhalts anschliesst.

Betreffs der einzelnen Aufsätze ist Folgendes zu bemerken:

1. Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten, ein Vortrag, 1853 gehalten in der deutschen Gesellschaft in Königsberg, wurde zuerst veröffentlicht in der „Kieler Monatsschrift“, Mai 1853, dann in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen“, Heft I.

Digitized by Google

2. Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte; Vortrag, gehalten am 7. Februar 1854 in der physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg; veröffentlicht im gleichen Jahre im Verlage der Hartung'schen Buchhandlung zu Königsberg, später aufgenommen in die „Populären wissenschaftlichen Vorträge", Heft II. 1872. Dort ist in der Vorrede über diesen Aufsatz gesagt: „Dieser schon vor sechzehn Jahren „einmal veröffentlichte Aufsatz konnte in seinem Wieder„abdruck nicht ganz unverändert bleiben. Doch habe „ich möglichst wenig geändert. Nur da, wo bestimmt „erwiesene neue Erfahrungsthatsachen inzwischen hinzu„gekommen waren, um die aufgestellten Ansichten theils „zu bestätigen, theils zu modificiren, habe ich Aenderun„gen vorgenommen". Jetzt ist neu hinzugefügt ein Anhang über Robert Mayer's Priorität bezüglich der Aequivalenz von Wärme und Arbeit. Die im zweiten Anhange gegebenen Berechnungen sind revidirt mit Anwendung der neueren astronomischen Daten und unter Beseitigung eines Rechnungsfehlers von nicht erheblichem Gewicht.

3. Ueber die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie, zuerst veröffentlicht in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft I, 1865.

4. Ueber das Verhältnis der Naturwissenschaften zur Gesammtheit der Wissenschaften. Rectoratsrede, zuerst veröffentlicht 1862 als Universitätsprogramm, dann in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft I.

Digitized by Google

5. Ueber die Erhaltung der Kraft, Einleitungsvorlesung zu einem Cyclus von Vorlesungen, die ich im Winter 1862 auf 1863 in Karlsruhe deutsch gehalten hatte, später auf Einladung der Royal Institution in London im April 1864 in englischer Sprache wiederholt habe. Vollständig ausgearbeitet habe ich davon nur die vorliegende und die dritte Vorlesung des zweiten Bandes „Ueber die Entstehung des Planetensystems". (Populäre wissenschaftliche Vorträge, Heft II und III.) Auszüge der englischen Vorlesungen sind veröffentlicht in der Medical Times and Gazette, London, April 1864. Die Vorrede des Heftes II der „Populären wissenschaftlichen Vorträge" sagt darüber: „Diese Vorlesung führt einen Theil vom Inhalte der zweiten dieses Heftes weiter aus. Ihr Zweck ist es hauptsächlich, die physikalischen Grundbegriffe der Arbeit und ihrer Unveränderlichkeit möglichst klar zu machen. Die Anwendungen und Consequenzen des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft sind verhältnissmässig leichter zu fassen, und sind in neuerer Zeit von mehreren Seiten so anschaulich und interessant dargestellt worden, dass für eine Ausarbeitung des betreffenden Theils meines darüber gehaltenen Cyclus von Vorlesungen mir zur Zeit kein Bedürfniss vorhanden zu sein schien, um so mehr, als vielleicht einige der wichtigeren darin zu besprechenden Gegenstände in naher Zukunft einer viel bestimmteren Darlegung fähig sein werden, als es im Augenblicke der Fall ist".

„Dagegen habe ich bisher immer noch gefunden, dass die Grundbegriffe dieses Gebietes denjenigen Perso-

Digitized by Google

nen, welche nicht durch die Schule der mathematischen Mechanik gegangen sind, bei allem Eifer, aller Intelligenz, und selbst bei ziemlich hohem Maasse naturwissenschaftlicher Kenntnisse sehr schwer fasslich erscheinen. Auch ist nicht zu verkennen, dass es Abstracta von ganz eigenthümlicher Art sind. Ist ihr Verständniss doch selbst einem Geiste wie J. Kant nicht ohne Schwierigkeiten aufgegangen, wie seine darüber gegen Leibnitz geführte Polemik beweist. Ich hielt es deshalb wohl für der Mühe werth, in populärer Form eine Erläuterung der genannten Grundbegriffe an mannigfachen bekannteren mechanischen und physikalischen Beispielen zu geben, und habe deshalb zunächst nur die dieser Aufgabe nachstrebende erste Vorlesung aus jenem Cyclus gegeben".

6. Eis und Gletscher, zuerst veröffentlicht in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft I.

7. Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens, zuerst veröffentlicht als weitere Ausführung von Vorträgen in den „Preussischen Jahrbüchern", Jahrgang 1868. Sie haben deshalb mehr die Form von Revue-Artikeln erhalten. Da bei dem späteren Abdrucke in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft II, die Möglichkeit gegeben war, manche Verhältnisse durch Abbildungen viel deutlicher zu machen, als es ohne solche geschehen konnte, habe ich eine Anzahl von Holzschnitten einfügen lassen und die nöthigen Erläuterungen derselben in den Text aufgenommen. Einige andere kleine Aenderungen des Textes sind durch Berücksichtigung der Ergebnisse neuerer Versuchsreihen veranlasst worden.

Digitized by Google

8. Ueber das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft. Eröffnungsrede für die Naturforscherversammlung in Innsbruck, 1869. Diese war zuerst nur in einem kurzen und durch Druckfehler entstellten Auszuge in dem Tagesblatte der genannten Versammlung veröffentlicht worden. Ich hatte sie nicht nach einem ausgearbeiteten Manuscript, sondern nur nach einer kurzen schriftlichen Disposition gehalten und fast ein Jahr später für die „Populären wissenschaftlichen Vorträge“, Heft II, niedergeschrieben. Die vorliegende Ausarbeitung macht also keinen Anspruch, eine wortgetreue Wiedergabe jener Rede zu sein. Ich habe sie im Gegentheil der Sammlung der Vorträge angepasst, indem ich in ihrer Ausarbeitung kurz behandelt habe, was in anderen Aufsätzen der Sammlung ausführlicher besprochen ist.

9. Ueber das Sehen des Menschen, die schon oben erwähnte zum Besten von Kant's Denkmal in Königsberg gehaltene Rede, bisher nur erschienen als Broschüre im Verlage von L. Voss in Leipzig, 1855.

Digitized by Google

INHALT DES ERSTEN BANDES.

Digitized by Google

ÜBER
GOETHE'S
NATURWISSENSCHAFTLICHE
ARBEITEN.

Vortrag

gehalten

im Frühling 1853 in der deutschen Gesellschaft

zu Königsberg.

Digitized by Google

Goethe, dessen umfassendes Talent namentlich in der besonnenen Klarheit hervortrat, womit er die Wirklichkeit des Menschen und der Natur in ihren kleinsten Zügen mit lebensfrischer Anschauung festzuhalten und wiederzugeben wusste, wurde durch diese besondere Richtung seines Geistes auch mit Nothwendigkeit zu naturwissenschaftlichen Studien hingeführt, in denen er nicht nur aufnahm, was Andere ihn zu lehren wussten, sondern auch, wie es bei einem so ursprünglichen Geiste nicht anders sein konnte, bald selbstthätig und zwar in höchst eigenthümlicher Weise einzugreifen versuchte. Er wandte seine Thätigkeit sowohl dem Gebiete der beschreibenden, als dem der physikalischen Naturwissenschaften zu; jenes geschah namentlich in seinen botanischen und osteologischen Abhandlungen, dieses in der Farbenlehre. Die ersten Gedankenkeime dieser Arbeiten fallen meist in das letzte Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts, wenn auch ihre Ausführung und Darstellung theilweise später vollendet ist. Seitdem hat die Wissenschaft in sehr ausgedehnter Weise vorwärtsgearbeitet, zum Theil ganz neues Ansehen gewonnen, ganz neue Gebiete der Forschung eröffnet, ihre theoretischen Vorstellungen mannigfach geändert. Ich will versuchen, im Vorliegenden das Verhältniss von Goethe's Arbeiten zum gegenwärtigen Standpunkte der Naturwissenschaften zu schildern und den gemeinsamen leitenden Gedanken derselben anschaulich zu machen.

Der eigenthümliche Charakter der beschreibenden Naturwissenschaften, Botanik, Zoologie, Anatomie u. s. w., wird dadurch bedingt, dass sie ein ungeheures Material von Thatsachen zu sammeln, zu sichten und zunächst in eine logische Ordnung, ein System, zu bringen haben. So weit ist ihre Arbeit nur die trockene eines Lexicographen, ihr System ein Repositorium, in welchem die

Digitized by Google

Masse der Acten so geordnet ist, dass Jeder in jedem Augenblicke das Verlangte finden kann. Der geistigere Theil ihrer Arbeit und ihr eigentliches Interesse beginnt erst, wenn sie versuchen, den zerstreuten Zügen von Gesetzmässigkeit in der unzusammenhängenden Masse nachzuspüren und sich daraus ein übersichtliches Gesammtbild herzustellen, in welchem jedes Einzelne seine Stelle und sein Recht behält und durch den Zusammenhang mit dem Ganzen an Interesse noch gewinnt. Hier fand der ordnende und ahnende Geist unseres Dichters ein geeignetes Feld für seine Thätigkeit, und zugleich war die Zeit ihm günstig. Er fand schon genug Material in der Botanik und vergleichenden Anatomie gesammelt und logisch geordnet vor, um eine umfassende Rundschau zu erlauben und auf richtige Ahnungen einer durchgehenden Gesetzmässigkeit hinzuweisen; dagegen irrten die Bestrebungen seiner Zeitgenossen in dieser Beziehung meist ohne Leitfaden umher, oder sie waren noch so von der Mühe des trockenen Einregistrirens in Anspruch genommen, dass sie an weitere Aussichten kaum zu denken wagten. Hier war es Goethe vorbehalten, zwei bedeutende Gedanken von ungemeiner Fruchtbarkeit in die Wissenschaft hineinzuwerfen.

Der erste war die Idee, dass die Verschiedenheiten in dem anatomischen Baue der verschiedenen Thiere aufzufassen seien als Abänderungen eines gemeinsamen Bauplanes oder Typus, bedingt durch die verschiedenen Lebensweisen, Wohnorte, Nahrungsmittel. Die Veranlassung für diesen folgereichen Gedanken war sehr unscheinbar und findet sich in der schon 1786 geschriebenen kleinen Abhandlung über das Zwischenkieferbein. Man wusste, dass bei sämmtlichen Wirbelthieren (d. h. Säugethieren, Vögeln, Amphibien, Fischen) die obere Kinnlade jederseits aus zwei Knochenstücken besteht, dem sogenannten Oberkiefer- und Zwischenkieferbein. Ersteres enthält bei den Säugethieren stets die Backen- und Eckzähne, letzteres die Schneidezähne. Der Mensch, welcher sich von ihnen allen durch den Mangel der vorragenden Schnauze unterscheidet, hatte dagegen jederseits nur ein Knochenstück, das Oberkieferbein, welches alle Zähne enthielt. Da entdeckte Goethe auch an menschlichen Schädeln schwache Spuren der Nähte, welche bei den Thieren Oberkiefer und Zwischenkiefer verbinden, und schloss daraus, dass auch der Mensch ursprünglich einen Zwischenkiefer besitze, der aber später durch Verschmelzung mit dem Oberkiefer verschwinde. Diese unscheinbare Thatsache lässt ihn sogleich einen Quell des anregendsten Interesses in dem wegen seiner

Trockenheit übel berüchtigten Boden der Osteologie entdecken. Dass Mensch und Thier ähnliche Theile zeigen, wenn sie diese Theile zu ähnlichen Zwecken dauernd gebrauchen, hatte nichts Ueberraschendes gehabt. In diesem Sinne hatte schon Camper die Aehnlichkeiten des Baues bis zu den Fischen hin zu verfolgen gesucht. Aber dass diese Aehnlichkeit auch in einem Falle der Anlage nach bestehe, wo sie den Anforderungen des vollendeten menschlichen Baues offenbar nicht entspricht, und ihnen deshalb nachträglich durch Verwachsung der getrennt entstandenen Theile angepasst werden muss, das war ein Wink, welcher Goethe's geistigem Auge genügte, um ihm einen Standpunkt von weit umfassender Aussicht anzuzeigen. Weitere Studien überzeugten ihn bald von der Allgemeingültigkeit seiner neugewonnenen Anschauung, so dass er im Jahre 1795 und 1796 die ihm dort aufgegangene Idee näher bestimmen und in dem Entwurf einer allgemeinen Einleitung in die vergleichende Anatomie zu Papier bringen konnte. Er lehrt darin mit der grössten Entschiedenheit und Klarheit, dass alle Unterschiede im Baue der Thierarten als Veränderungen des einen Grundtypus aufgefasst werden müssten, welche durch Verschmelzung, Umformung, Vergrösserung, Verkleinerung oder gänzliche Beseitigung einzelner Theile hervorgebracht seien. Es ist das im gegenwärtigen Zustande der vergleichenden Anatomie in der That die leitende Idee dieser Wissenschaft geworden. Sie ist später nirgends besser und klarer ausgesprochen, als es Goethe gethan hatte, auch hat die Folgezeit wenige wesentliche Veränderungen daran vorgenommen, deren wichtigste die ist, dass man den gemeinsamen Typus jetzt nicht für das ganze Thierreich zu Grunde legt, sondern für jede der von Cuvier aufgestellten Hauptabtheilungen desselben. Der Fleiss von Goethe's Nachfolgern hat ein unendlich reicheres, wohlgesichtetes Material zusammengehäuft und, was er nur in allgemeinen Andeutungen geben konnte, in das Speciellste verfolgt und durchgeführt.

Die zweite leitende Idee, welche Goethe der Wissenschaft schenkte, sprach eine ähnliche Analogie zwischen den verschiedenen Theilen ein und desselben organischen Wesens aus, wie wir sie eben für die entsprechenden Theile verschiedener Arten beschrieben haben. Die meisten Organismen zeigen eine vielfältige Wiederholung einzelner Theile. Am auffallendsten thun das die Pflanzen; eine jede pflegt eine grosse Anzahl gleicher Stengelblätter, gleicher Blüthenblätter, Staubfäden u. s. w. zu haben. In-

Digitized by Google

dem nun Goethe, wie er erzählt, zuerst bei einer Fächerpalme in Padua darauf aufmerksam wurde, wie mannigfache Uebergänge zwischen den verschiedensten Formen die nach einander sich entwickelnden Stengelblätter einer Pflanze zeigen können, wie statt der ersten einfachsten Wurzelblättchen sich immer mehr und mehr getheilte bis zu den zusammengesetztesten Fiederblättern entwickeln, gelang es ihm auch später die Uebergänge zwischen den Blättern des Stengels und denen des Kelchs und der Blüthe, zwischen letzteren und den Staubfäden, Nectarien und Samengebilden zu finden und so zur Lehre von der Metamorphose der Pflanzen zu gelangen, welche er 1790 veröffentlichte. Wie die vordere Extremität der Wirbelthiere sich bald zum Arm beim Menschen und Affen, bald zur Pfote mit Nägeln, bald zum Vorderfuss mit Hufen, bald zur Flosse, bald zum Flügel entwickelt und immer eine ähnliche Gliederung, Stellung und Verbindung mit dem Rumpfe behält, so erscheint das Blatt bald als Keimblatt, Stengelblatt, Kelchblatt, Blüthenblatt, Staubfaden, Honiggefäss, Pistill, Samenhülle u. s. w. immer mit einer gewissen Aehnlichkeit der Entstehung und Zusammensetzung und unter ungewöhnlichen Umständen auch bereit, aus der einen Form in die andere überzugehen. Jeder, der reich gefüllte Rosen aufmerksam betrachtet, wird die theils halb, theils ganz in Blüthenblätter verwandelten Staubfäden leicht erkennen. Auch diese Anschauungsweise Goethe's ist gegenwärtig in die Wissenschaft vollständig eingebürgert und erfreut sich der allgemeinen Zustimmung der Botaniker, wenn auch über einzelne Deutungen gestritten wird, z. B. ob der Samen ein Blatt oder ein Zweig sei.

Unter den Thieren ist die Zusammensetzung aus ähnlichen Theilen sehr auffallend in der grossen Abtheilung der Geringelten, z. B. Insecten, Ringelwürmer. Die Insectenlarve, die Raupe eines Schmetterlings besteht aus einer Anzahl ganz gleicher Körperabschnitte, der Leibesringel; nur der erste und letzte zeigen gewisse Abweichungen. Bei ihrer Verwandlung zum vollkommenen Insecte bewährt sich sehr leicht und deutlich die Anschauungsweise, welche Goethe in der Metamorphose der Pflanzen aufgefasst hatte, die Entwickelung des ursprünglich Gleichartigen zu anscheinend sehr verschiedenen Formen. Die Ringel des Hinterleibes behalten ihre ursprüngliche einfache Form, die des Bruststücks ziehen sich stark zusammen, entwickeln Füsse und Flügel, die des Kopfes Kinnladen und Fühlhörner, so dass an vollkommenen Insecten die ursprünglichen Ringel nur noch am Hintertheile

Digitized by Google

zu erkennen sind. Auch in den Wirbelthieren ist eine Wiederholung gleichartiger Theile in der Wirbelsäule angedeutet, aber in der äusseren Gestalt nicht mehr zu erkennen. Ein glücklicher Blick auf einen halbgesprengten Schafschädel, welchen Goethe 1790 im Sande des Lido von Venedig zufällig fand, lehrte ihn auch den Schädel als eine Reihe stark veränderter Wirbel aufzufassen. Beim ersten Anblick kann nichts unähnlicher sein, als die weite, einförmige, von platten Knochen begrenzte Schädelhöhle der Säugethiere und das enge cylindrische Rohr der Wirbelsäule, aus kurzen, massigen und vielfach gezackten Knochen zusammengesetzt. Es gehört ein geistreicher Blick dazu, um im Schädel der Säugethiere die ausgeweiteten und umgeformten Wirbelringe wiederzuerkennen, während bei Amphibien und Fischen die Aehnlichkeit auffallender ist. Goethe liess übrigens diesen Gedanken lange liegen, ehe er ihn veröffentlichte; wie es scheint, weil er seiner günstigen Aufnahme nicht recht sicher war. Unterdessen fand 1806 auch Oken denselben, führte ihn in die Wissenschaft ein und gerieth darüber in einen Prioritätsstreit mit Goethe, welcher erst 1817, als der Gedanke anfing sich Beifall zu erwerben, erklärte, dass er ihn seit 30 Jahren gehegt habe. Ueber die Zahl und die Zusammensetzung der einzelnen Schädelwirbel ist und wird noch viel gestritten, der Grundgedanke hat sich aber erhalten.

Uebrigens scheinen auch seine Ansichten über den gemeinsamen Bauplan der Thiere nicht eigentlich direct in den Entwickelungsgang der Wissenschaften eingegriffen zu haben. Die Lehre von der Pflanzenmetamorphose ist als sein anerkanntes und directes Eigenthum in die Botanik eingeführt worden. Seine osteologischen Ansichten dagegen stiessen zuerst auf Widerspruch bei den Männern vom Fache und wurden erst später, als sich die Wissenschaft, wie es scheint, unabhängig zu derselben Erkenntniss durchgearbeitet hatte, Gegenstand der Aufmerksamkeit. Er selbst klagt, dass seine ersten Ideen über den gemeinsamen Typus zur Zeit, als er sie in sich durcharbeitete, nur Widerspruch und Zweifel gefunden hätten, dass selbst Geister von frisch aufkeimender Originalität, wie die Brüder v. Humboldt, sie mit einer gewissen Ungeduld angehört hätten. Uebrigens liegt es in der Natur der Sache, dass theoretische Ideen in den Naturwissenschaften nur dann die Aufmerksamkeit der Fachgenossen erregen, wenn sie gleichzeitig mit dem ganzen beweisenden Materiale vorgeführt werden und durch dieses ihre thatsächliche Berechtigung darlegen. Jedenfalls gebührt aber Goethen der grosse Ruhm, die leitenden

Digitized by Google

Ideen zuerst vorausgeschaut zu haben, zu denen der eingeschlagene Entwickelungsgang der genannten Wissenschaften hindrängte, und durch welche deren gegenwärtige Gestalt bestimmt wird.

So gross nun aber auch die Verehrung ist, welche sich Goethe durch seine Leistungen in den beschreibenden Naturwissenschaften erworben hat, ebenso unbedingt ist der Widerspruch, den sämmtliche Fachgelehrte seinen Arbeiten aus dem Gebiete der physikalischen Naturwissenschaften entgegensetzen, namentlich seiner Farbenlehre. Es ist hier nicht die Stelle, mich in die darüber geführte Polemik einzulassen; ich will nur versuchen, den Gegenstand des Streites darzulegen und nachzuweisen, was sein verborgener Sinn, seine eigentliche Bedeutung sei. Es ist in dieser Beziehung von Wichtigkeit auf die Entstehungsgeschichte der Farbenlehre und ihren ersten einfachsten Stand zurückzugehen, weil hier schon die Gegensätze vollständig vorhanden sind und, nicht durch Streit um die Richtigkeit besonderer Thatsachen und verwickelter Theorien verhüllt, sich leicht und klar aufweisen lassen.

Goethe erzählt selbst sehr hübsch in der Confession am Schlusse seiner Geschichte der Farbenlehre, wie er dazu gekommen sei, diese zu bearbeiten. Weil er sich die ästhetischen Grundsätze des Colorits in der Malerei nicht klar machen konnte, beschloss er die physikalische Farbenlehre, wie sie ihm auf der Universität gelehrt worden war, wieder vorzunehmen und die dazu gehörigen Versuche selbst zu wiederholen. Er borgt zu dem Ende ein Glasprisma vom Hofrath Büttner in Jena, lässt es aber längere Zeit unbenutzt liegen, weil andere Beschäftigungen ihn von seinem Vorsatze ablenken. Der Eigenthümer, ein ordnungsliebender Mann, schickt nach mehreren vergeblichen Mahnungen einen Boten, der das Prisma gleich mit sich zurücknehmen soll. Goethe sucht es aus dem Kasten hervor und möchte doch wenigstens noch einen Blick hindurch thun. Er sieht auf das Gerathewohl nach einer ausgedehnten hellen weissen Wand hin, in der Voraussetzung, da sei viel Licht, da müsse er auch eine glänzende Zerlegung dieses Lichts in Farben sehen, eine Voraussetzung, welche übrigens beweist, wie wenig gegenwärtig ihm Newtons Theorie der Sache war. Er findet sich natürlich getäuscht. Auf der weissen Wand erscheinen ihm keine Farben, diese entwickeln sich erst da, wo sie von dunkeleren Gegenständen begrenzt wird, und er macht die richtige Bemerkung, welche übrigens in Newtons Theorie ebenfalls ihre vollständige Begründung findet, dass Farben durch das Prisma nur da erscheinen, wo ein dunkelerer Gegenstand an einen

Digitized by Google

helleren stösst. Betroffen von dieser ihm neuen Bemerkung und in der Meinung, sie sei mit Newtons Theorie nicht vereinbar, sucht er den Eigenthümer des Prisma zu beschwichtigen und macht sich nun mit angestrengtem Eifer und Interesse über die Sache her. Er bereitet sich Tafeln mit schwarzen und weissen Feldern, studirt an diesen die Erscheinungen unter mannigfachen Abänderungen, bis er seine Regeln hinreichend bewährt glaubt. Nun versucht er seine vermeintliche Entdeckung einem benachbarten Physiker zu zeigen, und ist unangenehm überrascht von diesem die Versicherung zu hören, die Versuche seien allbekannt und erklärten sich vollständig aus Newtons Theorie der Sache. Dieselbe Erklärung trat ihm von nun an unabänderlich aus dem Munde jedes Sachverständigen entgegen, selbst bei dem genialen Lichtenberg, den er eine Zeit lang vergebens zu bekehren suchte. Newtons Schriften studirte er, glaubte aber Trugschlüsse darin aufgefunden zu haben, welche den Grund des Irrthums enthielten. Da er von seinen Bekannten keinen überzeugen konnte, beschloss er endlich vor den Richterstuhl der Oeffentlichkeit zu treten und gab 1791 und 1792 das erste und zweite Stück seiner Beiträge zur Optik heraus.

Darin sind die Erscheinungen beschrieben, welche weisse Felder auf schwarzem Grunde, schwarze auf weissem und farbige Felder auf schwarzem oder weissem Grunde darbieten, wenn sie durch ein Prisma angesehen werden. Ueber den Erfolg der Versuche ist durchaus kein Streit zwischen ihm und den Physikern. Er beschreibt die gesehenen Erscheinungen umständlich, streng naturgetreu und lebhaft, ordnet sie in einer angenehm zu übersehenden Weise zusammen und bewährt sich hier wie überall im Gebiete des Thatsächlichen als der grosse Meister der Darstellung. Er spricht dabei aus, dass er die vorgetragenen Thatsachen zur Widerlegung von Newtons Theorie geeignet halte. Namentlich sind es zwei Punkte, an denen er Anstoss genommen hat, dass nämlich die Mitte einer weissen breiteren Fläche durch das Prisma gesehen weiss bleibe, und dass auch ein schwarzer Streifen auf weissem Grunde ganz in Farben aufgelöst werden könne.

Newtons Farbentheorie gründet sich auf die Annahme, dass es Licht verschiedener Art gebe, welches sich unter anderen auch durch den Farbeneindruck unterscheide, den es im Auge mache. So gebe es Licht von rother, orangener, gelber, grüner, blauer, violetter Farbe und von allen zwischenliegenden Uebergangsstufen. Licht verschiedener Art und Farbe zusammengemischt gebe Misch-

Digitized by Google

farben, die theils anderen ursprünglichen Farben ähnlich sehen, theils neue Farbentöne bilden. Weiss sei die Mischung aller genannten Farben in bestimmten Verhältnissen. Aus den Mischfarben und dem Weiss könne man aber stets die einfachen Farben wieder ausscheiden, die letzteren seien dagegen unzerlegbar und unveränderlich. Die Farben der durchsichtigen und undurchsichtigen irdischen Körper entständen dadurch, dass diese von weissem Lichte getroffen einzelne farbige Theile desselben vernichteten, andere, welche nun nicht mehr im richtigen Verhältnisse gemischt seien um Weiss zu geben, dem Auge zuschickten. So erscheine ein rothes Glas deshalb roth, weil es nur rothe Strahlen durchlasse. Alle Farbe rühre also nur von einem veränderten Mischungsverhältnisse des Lichtes her, gehöre also ursprünglich dem Lichte an, nicht den Körpern, und letztere geben nur die Veranlassung zu ihrem Hervortreten.

Ein Prisma bricht das durchgehende Licht, d. h. lenkt es um einen gewissen Winkel von seinem Wege ab; verschiedenfarbiges einfaches Licht hat nach Newton verschiedene Brechbarkeit, schlägt nach der Brechung im Prisma deshalb verschiedene Wege ein und trennt sich von einander. Ein heller Punkt von verschwindend kleiner Grösse erscheint deshalb durch das Prisma gesehen aus seiner Stelle gerückt und in eine farbige Linie ausgezogen, ein sogenanntes Farbenspectrum, welches die genannten einfachen Farben in der angegebenen Reihenfolge zeigt. Betrachtet man eine breitere helle Fläche, so fallen die Spectra der in ihrer Mitte gelegenen Punkte so übereinander, wie eine leichte geometrische Untersuchung zeigt, dass überall alle Farben in dem Verhältnisse, um Weiss zu geben, zusammentreffen. Nur an den Rändern werden sie theilweise frei. Es erscheint daher die weisse Fläche verschoben, an dem einen Rande blau und violett, am andern gelb und roth gesäumt. Ein schwarzer Streif zwischen zwei weissen Flächen kann von deren farbigen Säumen ganz bedeckt werden, und wo sie in der Mitte zusammenstossen, mischen sich Roth und Violett zur Purpurfarbe; die Farben, in die der schwarze Streif aufgelöst erscheint, entstehen also nicht aus dem Schwarzen, sondern aus dem umgebenden Weissen.

Im ersten Augenblicke hat Goethe offenbar Newtons Theorie zu wenig im Gedächtnisse gehabt, um die physikalische Erklärung der genannten Thatsachen, die ich eben angedeutet habe, finden zu können. Später ist sie ihm vielfach und zwar durchaus verständlich vorgetragen worden, denn er spricht darüber mehrere

Digitized by Google

Male so, dass man sieht, er habe sie ganz richtig verstanden [1]). Sie genügt ihm aber so wenig, dass er dennoch fortwährend bei der Behauptung bleibt, die angegebenen Thatsachen seien geeignet, Jedem, der sie nur ansehe, die gänzliche Unrichtigkeit von Newtons Theorie vor Augen zu legen, ohne dass er aber weder hier noch in seinen spätern polemischen Schriften auch nur ein einziges Mal bestimmt bezeichnet, worin denn das Ungenügende der Erklärung liegen solle. Er wiederholt nur immer wieder und wieder die Versicherung ihrer gänzlichen Absurdität. Und doch weiss ich nicht, wie Jemand, er möge eine Ansicht über die Farben haben, welche er wolle, läugnen kann, dass die Theorie in sich vollständig consequent ist, dass ihre Annahmen, wenn man sie einmal zugiebt, die besprochenen Thatsachen vollständig und sogar einfach erklären. Newton selbst erwähnt an vielen Stellen seiner optischen Schriften solcher unreinen Spectra, deren Mitte noch weiss ist, ohne sich je in eine besondere Erörterung darüber einzulassen, offenbar in der Meinung, dass die Erklärung davon aus seinen Annahmen sich von selbst verstehe. Und er scheint sich in dieser Meinung nicht getäuscht zu haben, denn als Goethe anfing, auf die betreffenden Erscheinungen aufmerksam zu machen, trat ihm Jeder, der etwas von der Physik wusste, wie er selbst berichtet, unabänderlich mit dieser selben Erklärung aus Newtons Principien sogleich entgegen, die sich also ein Jeder doch auf der Stelle zu bilden im Stande war.

Den Lesenden, der aufmerksam und gründlich jeden Schritt in diesem Theile der Farbenlehre sich klar zu machen sucht, überschleicht hier leicht ein unheimliches ängstliches Gefühl; er hört fortdauernd einen Mann von der seltensten geistigen Begabung leidenschaftlich versichern, hier in einigen scheinbar ganz klaren, ganz einfachen Schlüssen sei eine augenfällige Absurdität verborgen. Er sucht und sucht, und da er beim besten Willen keine solche finden kann, nicht einmal einen Schein davon, wird ihm endlich zu Muthe, als wären seine eigenen Gedanken wie festgenagelt. Aber eben wegen dieses offenen und schroffen Widerspruchs ist der Standpunkt Goethe's in der Farbenlehre von 1792 so interessant und wichtig. Er hat hier seine eigene Theorie noch nicht entwickelt, es handelt sich noch um einige wenige leicht zu übersehende Thatsachen, über deren Richtigkeit alle Parteien einig

---

[1]) In der Erklärung der neunten Kupfertafel zur Farbenlehre, welche gegen Green gerichtet ist.

Digitized by Google

sind, und doch stehen beide mit ihren Ansichten streng gesondert einander gegenüber; keiner begreift auch nur, was der Gegner eigentlich wolle. Auf der einen Seite steht eine Zahl von Physikern, welche durch lange Reihen der scharfsinnigsten Untersuchungen, Rechnungen, Erfindungen die Optik zu einer Vollendung gebracht haben, dass sie als die einzige der physikalischen Wissenschaften mit der Astronomie fast zu wetteifern anfing. Alle haben theils durch directe Untersuchungen, theils durch die Sicherheit, mit der sie den Erfolg der mannigfaltigsten Constructionen und Combinationen von Instrumenten voraus berechnen können, Gelegenheit gehabt, die Folgerungen aus Newtons Ansichten an der Erfahrung zu prüfen, und stimmen in diesem Felde ausnahmslos überein. Auf der andern Seite steht ein Mann, dessen seltene geistige Begabung, dessen besonderes Talent für die Auffassung der thatsächlichen Wirklichkeit wir nicht nur in der Dichtkunst, sondern auch in den beschreibenden Theilen der Naturwissenschaften anzuerkennen Ursache haben, der mit dem grössten Eifer versichert, jene seien im Irrthume, der in seiner Ueberzeugung so gewiss ist, dass er sich jeden Widerspruch nur durch Beschränktheit oder bösen Willen der Gegner erklären kann, der endlich seine Leistungen in der Farbenlehre für viel werthvoller achten zu müssen erklärt, als was er je in der Dichtkunst gethan habe *).

Ein so schroffer Widerspruch lässt uns vermuthen, dass hinter der Sache ein viel tiefer liegender principieller Gegensatz verschiedener Geistesrichtungen verborgen sei, der das gegenseitige Verständniss der streitenden Parteien verhindere. Ich will mich bemühen, im Folgenden zu bezeichnen, worin ich einen solchen finden zu können glaube.

Goethe, obgleich er sich in vielen Feldern geistiger Thätigkeit versucht hat, ist doch seiner hervorragendsten Begabung nach Dichter. Das Wesentliche der dichterischen wie jeder künstlerischen Thätigkeit besteht darin, das künstlerische Material zum unmittelbaren Ausdrucke der Idee zu machen. Nicht als Resultat einer Begriffsentwickelung, sondern als das der unmittelbaren geistigen Anschauung, des erregten Gefühls, dem Dichter selbst kaum bewusst, muss die Idee in dem vollendeten Kunstwerk daliegen und es beherrschen. Durch diese Einkleidung in die Form unmittelbarer Wirklichkeit empfängt der ideelle Gehalt des Kunst-

*) S. Eckermann's Gespräche.

Digitized by Google

werks eben die ganze Lebendigkeit des unmittelbaren sinnlichen Eindrucks, verliert aber natürlich die Allgemeinheit und Verständlichkeit, welche er in der Form des Begriffs vorgetragen haben würde. Der Dichter, welcher in dieser besonderen Art der geistigen Thätigkeit die eigene wunderbare Kraft seiner Werke begründet fühlt, sucht dieselbe auch auf andere Gebiete zu übertragen. Die Natur sucht er nicht in anschauungslose Begriffe zu fassen, sondern stellt sich ihr wie einem in sich geschlossenen Kunstwerke gegenüber, welches seinen geistigen Inhalt von selbst hier oder dort dem empfänglichen Beschauer offenbaren müsse. So macht er beim Anblick des gesprengten Schafschädels auf dem Lido von Venedig, an dem ihm die Wirbeltheorie des Schädels aufgeht, die Bemerkung, dass ihm davon sein alter, durch Erfahrung bestärkter Glauben wieder aufgefrischt sei, welcher sich fest darauf begründet, dass die Natur kein Geheimniss habe, was sie nicht irgendwo dem aufmerksamen Beobachter nackt vor die Augen stellt. Dasselbe in seinem ersten Gespräch mit Schiller über die Metamorphose der Pflanzen. Für Schiller, als einen Kantianer, ist die Idee das ewig zu erstrebende, ewig unerreichbare und daher nie in der Wirklichkeit darzustellende Ziel, während Goethe als ächter Dichter in der Wirklichkeit den unmittelbaren Ausdruck der Idee zu finden meint. Er selbst giebt an, dass dadurch der Punkt, der ihn von Schiller trennte, auf das Strengste bezeichnet war. Hier liegt auch seine Verwandtschaft mit Schellings und Hegels Naturphilosophie, welche ebenfalls von der Annahme ausgeht, dass die Natur die verschiedenen Entwickelungsstufen des Begriffs unmittelbar darstelle. Daher auch die Wärme, mit der Hegel und seine Schüler Goethe's naturwissenschaftliche Ansichten vertheidigt haben. Die bezeichnete Naturansicht bedingt bei Goethe denn auch die fortgesetzte Polemik gegen zusammengesetzte Versuchsweisen. Wie das ächte Kunstwerk keinen fremden Eingriff erträgt, ohne beschädigt zu werden, so wird ihm auch die Natur durch die Eingriffe des Experimentirenden in ihrer Harmonie gestört, gequält, verwirrt, und sie täuscht dafür den Störenfried durch ein Zerrbild.

Geheimnissvoll am lichten Tag
Lässt sich Natur des Schleiers nicht berauben,
Und was sie deinem Geist nicht offenbaren mag,
Das zwingst du ihr nicht ab mit Hebeln und mit Schrauben.

Demgemäss spottet er, namentlich in seiner Polemik gegen Newton, häufig der durch viele enge Spalten und Gläser hindurch-

Digitized by Google

gequälten Farbenspectra und preiset die Versuche, welche man in klarem Sonnenschein unter freiem Himmel anstellen könne, nicht nur als besonders leicht und besonders ergötzlich, sondern auch als besonders beweisend.

Die dichterische Richtung geistiger Thätigkeit charakterisirt sich schon in seinen morphologischen Arbeiten ganz entschieden. Man untersuche nur, was denn nun eigentlich mit den Ideen geleistet sei, die die Wissenschaft von ihm empfangen hat, man wird ein höchst wunderliches Verhältniss finden. Niemand wird sich gegen die Evidenz verschliessen, wenn ihm die Reihenfolge der Uebergänge vorgelegt wird, womit ein Blatt in einen Staubfaden, ein Arm in einen Flügel oder eine Flosse, ein Wirbel in das Hinterhauptbein übergeht. Die Idee, sämmtliche Blüthentheile der Pflanze seien umgeformte Blätter, eröffnet einen gesetzmässigen Zusammenhang, der etwas sehr Ueberraschendes hat. Jetzt suche man das blattartige Organ zu definiren, sein Wesen zu bestimmen, so dass es alle die genannten Gebilde in sich begreift. Man geräth in Verlegenheit, weil alle besonderen Merkmale verschwinden, und man zuletzt nichts übrig behält, als dass ein Blatt im weiteren Sinne ein seitlicher Anhang der Pflanzenaxe sei. Sucht man also den Satz: „die Blüthentheile sind veränderte Blätter," in der Form wissenschaftlicher Begriffsbestimmungen auszusprechen, so verwandelt er sich in den anderen: „die Blüthentheile sind seitliche Anhänge der Pflanzenaxe," und um das zu sehen, braucht kein Goethe zu kommen. Ebenso hat man der Wirbeltheorie des Schädels nicht mit Unrecht vorgeworfen, sie müsse den Begriff des Wirbels so sehr erweitern, dass nichts übrig bleibe, als ein Wirbel sei ein Knochen. Nicht kleiner ist die Verlegenheit, wenn man in klaren wissenschaftlichen Begriffen definiren soll, was es bedeute, dass dieser Theil des einen Thieres jenem des andern entspreche. Es ist nicht der gleiche physiologische Gebrauch, denn dasselbe Knochenstück wird bei einem Säugethiere ein winziges, in der Tiefe des Felsenbeins verborgenes Gehörknöchelchen, welches bei einem Vogel zur Einlenkung des Unterkiefers dient, — es ist nicht die Gestalt, nicht die Lage, nicht die Verbindung mit anderen Theilen, welche einen constanten Charakter seiner Identität abgäben. Aber dennoch ist in den meisten Fällen durch Verfolgung der Uebergangsstufen möglich gewesen, mit ziemlicher Sicherheit auszumitteln, welche Theile sich entsprechen. Goethe selbst hat dies Verhältniss sehr richtig eingesehen, er sagt bei Gelegenheit der Wirbeltheorie des Schädels: „Ein dergleichen

Digitized by Google

Aperçu, ein solches Gewahrwerden, Auffassen, Vorstellen, Begriff, Idee, wie man es nennen mag, behält immerfort, man gebehrde sich, wie man will, eine esoterische Eigenschaft; im Ganzen lässt es sich aussprechen, aber nicht beweisen, im Einzelnen lässt es sich wohl vorzeigen, doch bringt man es nicht rund und fertig." So steht die Sache grösstentheils noch jetzt. Man kann sich den Unterschied noch klarer machen, wenn man überlegt, wie die Physiologie, die Erforscherin des ursächlichen Zusammenhangs der Lebensvorgänge, diese Idee des gemeinsamen Bauplanes der Thiere behandeln müsste. Sie könnte fragen: Ist etwa die Ansicht richtig, wonach während der geologischen Entwickelung der Erde sich eine Thierart aus der andern gebildet habe, und hat sich dabei die Brustflosse des Fisches allmälig in einen Arm oder Flügel verwandelt? Oder sind die verschiedenen Thierarten gleich fertig erschaffen worden, und rührt ihre Aehnlichkeit daher, dass die frühesten Schritte der Entwickelung aus dem Ei bei allen Wirbelthieren nur auf eine einzige, sehr übereinstimmende Weise von der Natur ausgeführt werden können, und sind die späteren Analogien des Baues durch diese ersten gemeinsamen Grundzüge der Entwickelung bedingt? Zu der letztern Ansicht möchte sich die Mehrzahl der Forscher gegenwärtig neigen [1]), denn die Uebereinstimmung in den früheren Zeiten der Entwickelung ist sehr auffallend. So haben selbst die jungen Säugethiere zeitweise die Anlagen zu Kiemenbögen an den Seiten des Halses, wie die Fische, und es scheinen in der That die sich entsprechenden Theile der erwachsenen Thiere während der Entwickelung auf gleiche Weise zu entstehen, so dass man neuerdings angefangen hat, die Entwickelungsgeschichte als Controle für die theoretischen Ansichten der vergleichenden Anatomie zu gebrauchen. Man sieht, dass durch die angedeuteten physiologischen Ansichten die Idee des gemeinsamen Typus ihre begriffliche Bestimmung und Bedeutung bekommen würde. Goethe hat Grosses geleistet, indem er ahnte, dass ein Gesetz vorhanden sei, und die Spuren desselben scharfsichtig verfolgte, aber welches Gesetz da sei, erkannte er nicht und suchte auch nicht danach. Das letztere lag nicht in der Richtung seiner Thätigkeit, und darüber ist selbst bei dem jetzigen Zustande der Wissenschaft noch keine feststehende Ansicht möglich, kaum dass die Art erkannt wird, wie die Fragen zu stellen sein werden. Gern erkennen wir also an, dass Goethe in diesem

[1]) Dies ist vor Darwin's Buche über den Ursprung der Art geschrieben.

Gebiete Alles geleistet hat, was in seiner Zeit überhaupt zu leisten war. Ich sagte vorher, er stelle sich der Natur wie einem Kunstwerke gegenüber. In seinen morphologischen Studien spielt er dieselbe Rolle, wie der kunstsinnige Hörer einer Tragödie, welcher fein herausfühlt, wie in dieser alles Einzelne zusammengehört, zusammenwirkt, von einem gemeinsamen Plane beherrscht wird, und sich an dieser kunstvollen Planmässigkeit lebhaft erfreut, ohne doch die leitende Idee des Ganzen begriffsmässig entwickeln zu können. Das letztere Geschäft bleibt der wissenschaftlichen Betrachtung des Kunstwerks vorbehalten, und jener ist vielleicht, wie Goethe der Natur gegenüber, kein Freund solcher Zergliederung des Werks, an dem er sich freut, weil er — aber mit Unrecht — fürchtet, seine Freude könne ihm dadurch gestört werden.

Aehnlich ist Goethe's Standpunkt in der Farbenlehre. Wir haben gesehen, dass seine Opposition gegen die physikalische Theorie bei einem Punkte anhebt, wo diese ganz vollständige und consequente Erklärungen aus ihren einmal angenommenen Grundlagen giebt. Er kann offenbar nicht daran Anstoss genommen haben, dass die Theorie in dem einzelnen Falle nicht ausreiche, sondern vielmehr an den Annahmen, die sie zum Zwecke der Erklärung macht, und die ihm so absurd erscheinen, dass er deshalb die gegebene Erklärung als gar keine achtet. Es scheint ihm namentlich der Gedanke undenkbar gewesen zu sein, dass weisses Licht aus farbigem zusammengesetzt werden könne; er schilt schon in jener frühesten Zeit[1]) auf das ekelhafte Newton'sche Weiss der Physiker, ein Ausdruck, welcher anzudeuten scheint, dass es besonders diese Annahme gewesen sei, welche ihn in jener Erklärung beleidigte.

Auch in seiner spätern Polemik gegen Newton, welche erst herausgegeben wurde, nachdem seine eigene Theorie der Farben vollendet war, geht sein Streben mehr dahin zu zeigen, dass die von Newton angeführten Thatsachen sich auch aus seiner Ansicht erklären liessen, und dass deshalb Newtons Ansicht nicht genügend bewiesen sei, als dass er eigentlich in dieser innere Widersprüche oder solche gegen die Thatsachen nachzuweisen suchte. Vielmehr scheint er die Evidenz seiner eigenen Ansicht für so gross zu halten, dass er sie nur vorzuführen brauche, um die Newtons zu vernichten. Es sind nur wenige Stellen, wo er die von Newton beschriebenen Versuche bestreitet. Bei einigen die-

---

[1]) Confession am Schluss der Geschichte der Farbenlehre.

Digitized by Google

ser Versuche [1]) scheint ihm die Wiederholung deshalb nicht geglückt zu sein, weil nicht bei allen Stellungen der dabei gebrauchten Linsen der Erfolg gleich leicht zu beobachten ist, und ihm die geometrischen Verhältnisse unbekannt waren, durch welche sich die günstigste Stellung der Linsen bestimmt. Bei anderen Versuchen über die Ausscheidung einfachen farbigen Lichtes mit Hülfe blosser Prismen sind Goethe's Einwürfe nicht ganz unrichtig, insofern die Reinigung der isolirten Farben auf diesem Wege wohl schwerlich so weit getrieben werden kann, dass die Brechung in einem andern Prisma nicht noch Spuren einer andern Färbung an den Rändern geben sollte. Eine so vollständige Ausscheidung des einfach farbigen Lichtes lässt sich nur in sehr sorgfältig geordneten, gleichzeitig aus Prismen und Linsen bestehenden Apparaten bewirken, und die Besprechung gerade dieser Versuche, welche Goethe auf einen supplementaren Theil verschoben hatte, ist er schuldig geblieben. Wenn er auf die verwirrende Complication dieser Vorrichtungen schilt, so denke man an die mühsamen Umwege, welche der Chemiker oft nehmen muss, um gewisse einfache Körper rein darzustellen, und man wird sich nicht verwundern dürfen, dass die ähnliche Aufgabe für das Licht nicht unter freiem Himmel, im Garten und mit einem einfachen Prisma in der Hand zu lösen ist [2]). Goethe muss seiner Theorie gemäss die Möglichkeit, reines farbiges Licht abzuscheiden, gänzlich in Abrede stellen. Ob er jemals mit Apparaten experimentirt hat, welche geeignet waren, diese Aufgabe zu lösen, bleibt zweifelhaft, da eben der versprochene supplementare Theil fehlt.

Um eine Anschauung von der Leidenschaftlichkeit zu geben, mit welcher der sonst so hofmännisch gemässigte Goethe gegen Newton polemisirt, citire ich aus wenigen Seiten des polemischen Theils der Farbenlehre folgende Ausdrücke, mit denen er die Sätze dieses grössten Denkers in dem Gebiete der Physik und Astronomie belegt: — „bis zum Unglaublichen unverschämt“ — „barer Unsinn“ — „fratzenhafte Erklärungsart“ — „höchlich be-

[1]) Polemischer Theil. §. 47 u. 169.

[2]) Ich erlaube mir hier noch zu bemerken, dass ich die Unzerlegbarkeit und Unveränderlichkeit des einfachen farbigen Lichtes, diese beiden Grundlagen von Newtons Theorie, nicht blos vom Hörensagen, sondern durch eigenen Augenschein kenne, indem ich in einer meiner eigenen Untersuchungen (Ueber D. Brewsters neue Analyse des Sonnenlichts in Poggendorf's Annalen Bd. 86. S. 501) gezwungen war, die Reinigung des farbigen Lichtes bis zur letzten erreichbaren Vollendung zu treiben.

Digitized by Google

wundernswerth für die Schüler in der Laufbank." — „Aber ich sehe wohl, Lügen bedarf's und über die Maassen."

Goethe bleibt auch in der Farbenlehre seiner oben erwähnten Ansicht getreu, dass die Natur ihre Geheimnisse von selbst darlegen müsse, dass sie die durchsichtige Darstellung ihres ideellen Inhalts sei. Er fordert daher für die Untersuchung physikalischer Gegenstände eine solche Anordnung der beobachteten Thatsachen, dass eine immer die andere erkläre, und man so zur Einsicht in den Zusammenhang komme, ohne das Gebiet der sinnlichen Wahrnehmung zu verlassen. Diese Forderung hat einen sehr bestechenden Schein für sich, ist aber ihrem Wesen nach grundfalsch. Denn eine Naturerscheinung ist physikalisch erst dann vollständig erklärt, wenn man sie bis auf die letzten ihr zu Grunde liegenden und in ihr wirksamen Naturkräfte zurückgeführt hat. Da wir nun die Kräfte nie an sich, sondern nur ihre Wirkungen wahrnehmen können, so müssen wir in jeder Erklärung von Naturerscheinungen das Gebiet der Sinnlichkeit verlassen und zu unwahrnehmbaren, nur durch Begriffe bestimmten Dingen übergehen. Wenn wir einen Ofen warm finden und dann bemerken, dass Feuer darin brennt, so sagen wir allerdings vermöge eines ungenauen Sprachgebrauches, dass durch die zweite Wahrnehmung die erste erklärt werde. Im Grunde heisst das aber doch nichts anderes als: Wir sind immer gewohnt, wo Feuer brennt, auch Wärme zu finden, so auch dieses Mal im Ofen. Wir reihen also unser Factum unter ein allgemeineres, bekannteres ein, beruhigen uns dabei und nennen dies fälschlich eine Erklärung. Die Allgemeinheit dieser Beobachtung führt offenbar noch nicht die Einsicht in die Ursachen mit sich; letztere ergiebt sich erst, wenn wir ermitteln können, welche Kräfte in dem Feuer wirksam sind, und wie die Wirkungen von ihnen abhängen.

Aber dieser Schritt in das Reich der Begriffe, welcher nothwendig gemacht werden muss, wenn wir zu den Ursachen der Naturerscheinungen aufsteigen wollen, schreckt den Dichter zurück. In den Dichtwerken hat er dem geistigen Gehalte derselben die Einkleidung der unmittelbarsten sinnlichen Anschauung gegeben, ohne alle begrifflichen Zwischenglieder. Je grösser hier die sinnliche Lebendigkeit der Anschauung war, desto grösser war sein Ruhm. Er möchte die Natur ebenso angegriffen sehen. Der Physiker dagegen will ihn hinüberführen in eine Welt unsichtbarer Atome, Bewegungen, anziehender und abstossender Kräfte, die in zwar gesetzmässigem, aber kaum zu übersehendem Gewirre durch-

Digitized by Google

einander arbeiten. Letzterem ist der sinnliche Eindruck keine unumstössliche Autorität, er untersucht die Berechtigung desselben, fragt, ob wirklich das ähnlich, was die Sinne für ähnlich, ob wirklich das verschieden, was sie für verschieden erklären, und kommt häufig zu einer verneinenden Antwort. Das Resultat dieser Prüfung, wie es jetzt vorliegt, ist, dass die Sinnesorgane uns zwar von äussern Einwirkungen benachrichtigen, dieselben aber in ganz veränderter Gestalt zum Bewusstsein bringen, so dass die Art und Weise der sinnlichen Wahrnehmung weniger von den Eigenthümlichkeiten des wahrgenommenen Gegenstandes, als von denen des Sinnesorgans abhängt, durch welches wir die Nachricht bekommen. Alles, was uns der Sehnerv berichtet, berichtet er unter dem Bilde einer Lichtempfindung, sei es nun die Strahlung der Sonne, oder ein Stoss auf das Auge, oder ein elektrischer Strom im Auge. Der Hörnerv verwandelt wiederum Alles in Schallphänomene, der Hautnerv in Temperatur- oder Tastempfindungen. Derselbe elektrische Strom, dessen Dasein der Sehnerv als einen Lichtschein, der Geschmacksnerv als Säure berichtet, erregt im Hautnerven das Gefühl des Brennens. Denselben Sonnenstrahl, den wir Licht nennen, wenn er in das Auge fällt, nennen wir Wärme, wenn er die Haut trifft. Objectiv dagegen ist das Tageslicht, welches in unsere Fenster eindringt, und die Wärmestrahlung eines eisernen Ofens nicht mehr und nicht anders von einander unterschieden, als es die rothen und blauen Bestandtheile des Lichtes unter sich sind, d. h. wie sich die rothen von den blauen Strahlen nach der Undulationstheorie durch grössere Schwingungsdauer und geringere Brechbarkeit unterscheiden, so haben die dunklen Wärmestrahlen des Ofens eine noch grössere Schwingungsdauer und noch geringere Brechbarkeit als die rothen Lichtstrahlen, sind ihnen aber in jeder andern Beziehung vollkommen ähnlich. Alle diese Strahlen, leuchtende und nicht leuchtende, wärmen, aber nur ein gewisser Theil derselben, den wir eben deshalb mit dem Namen Licht belegen, kann durch die durchsichtigen Theile unseres Auges bis zum Sehnerven dringen und Lichtempfindung erregen. Wir können das Verhältniss vielleicht am passendsten so bezeichnen: Die Sinnesempfindungen sind uns nur Symbole für die Gegenstände der Aussenwelt und entsprechen diesen etwa so, wie der Schriftzug oder Wortlaut dem dadurch bezeichneten Dinge. Sie geben uns zwar Nachricht von den Eigenthümlichkeiten der Aussenwelt, aber nicht bessere, als wir einem Blinden durch Wortbeschreibungen von der Farbe geben.

Digitized by Google

Wir sehen, dass die Wissenschaft zu einer ganz entgegengesetzten Schätzung der Sinnlichkeit gelangt ist, als sie der Dichter in sich trug, und zwar war Newtons Behauptung, Weiss sei aus allen Farben des Spectrum zusammengesetzt, der erste Keim dieser erst später sich entwickelnden Ansicht. Denn zu jener Zeit fehlten noch die galvanischen Beobachtungen, welche den Weg zur Kenntniss der Rolle eröffneten, die die Eigenthümlichkeit der Sinnesnerven bei den Sinnesempfindungen spielt. Weiss, welches dem Auge als der einfachste, reinste aller Farbeneindrücke erscheint, sollte aus dem unreineren Mannigfaltigen zusammengesetzt sein. Hier scheint der Dichter mit schneller Vorahnung gefühlt zu haben, dass durch die Consequenzen dieses Satzes sein ganzes Princip in Frage komme, und deshalb erscheint ihm diese Annahme so undenkbar, so namenlos absurd. Seine Farbenlehre müssen wir als den Versuch betrachten, die unmittelbare Wahrheit des sinnlichen Eindrucks gegen die Angriffe der Wissenschaft zu retten. Daher der Eifer, mit dem er sie auszubilden und zu vertheidigen strebt, die leidenschaftliche Gereiztheit, mit der er die Gegner angreift, die überwiegende Wichtigkeit, welche er ihr vor allen seinen anderen Werken zuschreibt, und die Unmöglichkeit der Ueberzeugung und Versöhnung.

Wenden wir uns nun zu seinen eigenen theoretischen Vorstellungen, so ergiebt sich schon aus dem Vorigen, dass Goethe keine Erklärung der Erscheinungen geben kann, welche im physikalischen Sinne eine wäre, ohne seinem Principe untreu zu werden. Und so finden wir es wirklich. Er geht davon aus, dass die Farben stets dunkler als das Weiss sind, dass sie etwas Schattiges haben (nach der physikalischen Theorie: weil Weiss, die Summe alles farbigen Lichtes, heller sein muss als jeder seiner einzelnen Theile). Directe Mischung von Licht und Dunkel, von Weiss und Schwarz giebt Grau; die Farben müssen also durch eine andere Art der Zusammenwirkung von Licht und Schatten entstanden sein. Diese glaubt Goethe in den Erscheinungen schwach getrübter Medien zu finden. Solche sehen in der Regel blau aus, wenn sie selbst vom Lichte getroffen vor einem dunklen Grunde gesehen werden, gelb dagegen, wenn man durch sie einen hellen Gegenstand sieht. So erscheint die Luft bei Tage vor dem dunklen Himmelsgrunde blau, und die Sonne, beim Untergange durch eine lange trübe Luftschicht gesehen, gelb oder gelbroth. Die physikalische Erklärung dieses Phänomens, was sich jedoch nicht an allen trüben Körpern zeigt, z. B. nicht an mattgeschliffenen Glas-

Digitized by Google

platten, würde uns hier zu weit von unserem Wege abführen. Durch das trübe Mittel soll nach Goethe dem Lichte etwas Körperliches, Schattiges gegeben werden, wie es zum Entstehen der Farbe nothwendig sei. Schon bei dieser Vorstellung geräth man in Verlegenheit, wenn man sie als eine physikalische Erklärung betrachten will. Sollen sich etwa körperliche Theile dem Lichte zumischen und mit ihm davonfliegen? Auf dieses sein Urphänomen sucht Goethe alle übrigen Farbenerscheinungen zurückzuführen, namentlich die prismatischen. Er betrachtet alle durchsichtigen Körper als schwach trübe und nimmt an, dass das Prisma dem Bilde, welches es dem Beobachter zeigt, von seiner Trübung etwas mittheile. Hierbei ist es wieder schwer, sich etwas Bestimmtes zu denken. Goethe scheint gemeint zu haben, dass das Prisma nie ganz scharfe Bilder entwirft, sondern undeutliche, verwaschene, denn in der Farbenlehre reihet er sie an die Nebenbilder an, welche parallele Glasplatten und Krystalle von Kalkspath zeigen. Verwaschen sind die Bilder des Prisma allerdings im zusammengesetzten Lichte, vollkommen scharf dagegen im einfachen. Betrachte man, meint er, durch das Prisma eine helle Fläche auf dunklem Grunde, so werde das Bild vom Prisma verschoben und getrübt. Der vorangehende Rand desselben werde über den dunklen Grund hinübergeschoben, und erscheine als helles Trübes vor Dunklem blau, der hinterher folgende Rand der hellen Fläche werde aber von dem vorgeschobenen trüben Bilde des darnach folgenden schwarzen Grundes überdeckt und erscheine als ein Helles hinter einem dunklen Trüben gelbroth. Warum der vorgeschobene Rand vor dem Grunde, der nachbleibende hinter demselben erscheine, und nicht umgekehrt, erklärt er nicht. Man analysire aber diese Vorstellung weiter und mache sich den Begriff des optischen Bildes klar. Wenn ich einen hellen Gegenstand in einem Spiegel abgebildet sehe, so geschieht dies deshalb, weil das Licht, welches von jenem ausgeht, von dem Spiegel gerade so zurückgeworfen wird, als käme es von einem Gegenstande gleicher Art hinter dem Spiegel her, den das Auge des Beobachters demgemäss abbildet, und den der Beobachter deshalb wirklich zu sehen glaubt. Jedermann weiss, dass hinter dem Spiegel nichts Wirkliches dem Bilde entspricht, dass auch nicht einmal etwas von dem Lichte dort hindringt, sondern das Spiegelbild ist nichts als der geometrische Ort, in welchem die gespiegelten Strahlen rückwärts verlängert sich schneiden. Deshalb erwartet auch Niemand, dass das Bild hinter dem Spiegel irgend eine reelle Wirkung

Digitized by Google

ausüben solle. Ebenso zeigt uns das Prisma Bilder der gesehenen Gegenstände, welche eine andere Stelle als diese Gegenstände selbst haben. Das heisst, das Licht, welches der Gegenstand nach dem Prisma sendet, wird von diesem so gebrochen, als käme es von einem seitlich liegenden Gegenstande, dem Bilde, her. Dieses Bild ist nun wieder nichts Reelles, sondern es ist wiederum nur der geometrische Ort, in welchem sich rückwärts verlängert die Lichtstrahlen schneiden. Und doch soll bei Goethe dieses Bild durch seine Verschiebung reelle Wirkungen hervorbringen. Das verschobene Helle soll wie ein trüber Körper das dahinter scheinende Dunkle blau erscheinen lassen, das verschobene Dunkle das dahinter liegende Helle rothgelb. Dass Goethe hier ganz eigentlich das Bild in seiner scheinbaren Oertlichkeit als Gegenstand behandelt, zeigt sich auch namentlich darin, dass er in seiner Erklärung annehmen muss, der blaue Rand des hellen Feldes liege örtlich vor, der rothe hinter dem mitverschobenen dunklen Bilde. Goethe bleibt hier dem sinnlichen Scheine getreu und behandelt einen geometrischen Ort als körperlichen Gegenstand. Ebenso wenig nimmt er daran Anstoss, Roth und Blau sich zuweilen gegenseitig zerstören zu lassen, z. B. in dem prismatischen blauen Rande eines rothen Feldes, in andern Fällen dagegen daraus eine schöne Purpurfarbe zusammen zu setzen, wenn sich z. B. die blauen und rothen Ränder über einem schwarzen Felde begegnen. Noch wunderlicher sind die Wege, wie er sich aus den Verlegenheiten zieht, welche ihm Newtons zusammengesetztere Versuche bereiten. So lange man seine Erklärungen als bildliche Versinnlichungen der Vorgänge gelten lässt, kann man ihnen beistimmen, ja sie haben oft etwas sehr Anschauliches und Bezeichnendes, als physikalische Erklärungen dagegen würden sie sinnlos sein.

Dass der theoretische Theil der Farbenlehre keine Physik sei, wird hiernach Jedem einleuchten, und man kann auch einigermaassen einsehen, dass der Dichter eine ganz andere Betrachtungsweise, als die physikalische, in die Naturforschung einführen wollte, und wie er dazu kam. In der Dichtung kommt es ihm nur auf den „schönen Schein" an, der das Ideale zur Anschauung bringt; wie dieser Schein zu Stande komme, ist gleichgültig. Auch die Natur ist dem Dichter sinnbildlicher Ausdruck des Geistigen. Die Physik sucht dagegen die Hebel, Stricke und Rollen zu entdecken, welche hinter den Coulissen arbeitend diese regieren, und der Anblick des Mechanismus zerstört freilich den schönen Schein. Deshalb möchte der Dichter gern die Stricke und Rollen hinweg-

Digitized by Google

läugnen, für die Ausgeburten pedantischer Köpfe erklären und die Sache so darstellen, als veränderten die Coulissen sich selbst oder würden durch die Idee des Kunstwerks regiert. Auch liegt es in Goethe's ganzer Richtung, dass gerade er unter allen Dichtern gegen die Physik polemisch auftreten musste. Andere Dichter, je nach der Eigenthümlichkeit ihres Talents, achten entweder in der leidenschaftlichen Macht ihrer Begeisterung nicht auf das störende Materielle, oder sie erfreuen sich daran, wie auch in ihm trotz seines Widerstrebens sich der Geist Wege bahnt. Goethe, nie durch eine subjective Erregung über die umgebende Wirklichkeit geblendet, kann sich nur da behaglich verweilen, wo er die Wirklichkeit selbst vollständig poetisch gestempelt hat. Darin liegt die eigenthümliche Schönheit seiner Dichtungen, und darin liegt auch gleichzeitig der Grund, warum er gegen den Mechanismus, der ihn jeden Augenblick in seinem poetischen Behagen zu stören droht, kämpfend auftreten muss und den Feind in seinem eigenen Lager anzugreifen sucht.

Wir können aber den Mechanismus der Materie nicht dadurch besiegen, dass wir ihn wegläugnen, sondern nur dadurch, dass wir ihn den Zwecken des sittlichen Geistes unterwerfen. Wir müssen seine Hebel und Stricke kennen lernen, wenn es auch die dichterische Naturbetrachtung stören sollte, um sie nach unserem eigenen Willen regieren zu können, und darin liegt die grosse Bedeutung der physikalischen Forschung für die Cultur des Menschengeschlechtes und ihre volle Berechtigung gegründet.

Aus dem Dargestellten wird es klar sein, dass allerdings Goethe in seinen verschiedenen naturwissenschaftlichen Arbeiten die gleiche Richtung geistiger Thätigkeit verfolgt hat, dass aber die Aufgaben sehr entgegengesetzter Art waren, und wenn man einsieht, dass gerade dieselbe Eigenthümlichkeit, welche ihn in dem einen Felde zu glänzendem Ruhme emportrug, es war, die sein Scheitern in dem andern bedingte, so wird man vielleicht geneigter werden, den Verdacht gegen die Physiker schwinden zu lassen, welchen gewiss noch mancher der Verehrer des grossen Dichters hegt, als könnten sie doch wohl in verstocktem Zunftstolze für die Inspirationen des Genius sich blind gemacht haben.

Digitized by Google

Nachschrift,

(geschrieben 1875).

Hier ist zu constatiren, dass in dem seit der ersten Abfassung dieses Aufsatzes verflossenen Vierteljahrhundert die Gedankenkeime, welche Goethe im Gebiete der Naturwissenschaften ausgesät hat, zu vollerer und zum Theil reicher Entwickelung gelangt sind. Unverkennbar stützt sich Darwin's Theorie von der Umbildung der organischen Formen vorzugsweise auf dieselben Analogien und Homologien im Baue der Thiere und Pflanzen, welche der Dichter, als der erste Entdecker, zunächst nur in der Form ahnender Anschauung seinen ungläubigen Zeitgenossen darzulegen versucht hatte. Darwin's Verdienst ist es, dass er mit grossem Scharfsinne und aufmerksamer Beobachtung den ursächlichen Zusammenhang, dessen Wirkungen diese Uebereinstimmungen in dem Typus der verschiedenartigsten Organismen sind, oder doch sein könnten, aufgespürt, und so die dichterische Ahnung zur Reife des klaren Begriffes entwickelt hat. Ich brauche nicht hervorzuheben, welche Umwälzung in der ganzen Auffassung der Lebenserscheinungen diese Erkenntnisse hervorgerufen haben.

Aber auch den Ideen, welche sich Goethe über die Wege, die die Naturforschung einschlagen, und die Ziele, denen sie nachstreben müsse, gebildet hatte, ist man in naturwissenschaftlichen Kreisen unverkennbar näher gekommen.

In dieser Beziehung erlaube ich mir auf meine unten [1]) folgende Gedächtnissrede für G. Magnus zu verweisen. Was Goethe suchte, war das Gesetzliche in den Phänomenen; das war ihm die Hauptsache, welche er sich nicht durch metaphysische Gedankengebilde verwirren lassen wollte. Wenn die Naturforscher ihrerseits nun dazu gelangen, die Kraft als das von aller Zufälligkeit der Erscheinung gereinigte, und in seiner Herrschaft über die Wirklichkeit als objectiv gültig anerkannte Gesetz aufzufassen, so ist über die letzten Ziele wohl kaum noch eine erhebliche Divergenz der Meinungen vorhanden. Den entschiedensten Ausdruck hat diese Auffassung in Kirchhoff's eben erscheinenden Vorlesungen über mathematische Physik empfangen, wo er die Mechanik geradezu unter die beschreibenden Naturwissenschaften einreiht. Goethe's Versuch, seine Anschauungen an dem Beispiel der Farbenlehre praktisch durchzuführen, können wir freilich nicht als gelungen betrachten, aber das Gewicht, was er selbst auf diese Richtung seiner Arbeiten legte, wird verständlich. Er sah auch da ein hohes Ziel vor sich, zu dem er uns führen wollte; aber sein Versuch, einen Anfang des Weges zu entdecken, war nicht glücklich und leitete ihn leider in unentwirrbares Gestrüpp.

Digitized by Google

ÜBER DIE

WECHSELWIRKUNG

DER

NATURKRÄFTE

UND DIE

DARAUF BEZÜGLICHEN NEUESTEN ERMITTELUNGEN DER PHYSIK.

Ein

populär-wissenschaftlicher Vortrag

gehalten

am 7. Februar 1854

in

Königsberg in Preussen.

Digitized by Google

Die Physik hat in neuester Zeit eine neue Errungenschaft von sehr allgemeinem Interesse gemacht, von der ich mich bemühen will, im Folgenden eine Vorstellung zu geben. Es handelt sich dabei um ein neues allgemeines Naturgesetz, welches das Wirken sämmtlicher Naturkräfte in ihren gegenseitigen Beziehungen zu einander beherrscht, und eine ebenso grosse Bedeutung für unsere theoretischen Vorstellungen von den Naturprocessen hat, als es für die technische Anwendung derselben von Wichtigkeit ist.

Als von der Grenzscheide des Mittelalters und der neueren Zeit ab die Naturwissenschaften ihre schnelle Entwickelung begannen, machte unter den praktischen Künsten, welche sich daran anschliessen, auch die der technischen Mechanik, unterstützt durch die gleichnamige mathematische Wissenschaft, rüstige Fortschritte. Der Charakter der genannten Kunst war aber natürlich in jenen Zeiten von dem heutigen sehr verschieden. Ueberrascht und berauscht von ihren eigenen Erfolgen, verzweifelte sie in jugendlichem Uebermuthe an der Lösung keiner Aufgabe mehr, sondern machte sich zum Theil sogleich an die schwersten und verwickeltsten. So versuchte man denn auch sehr bald mit vielem Eifer lebende Thiere und Menschen in der Form sogenannter Automaten nachzubauen. Das Staunen des vorigen Jahrhunderts waren Vaucanson's Ente, welche frass und verdaute, desselben Meisters Flötenspieler, der alle Finger richtig bewegte, der schreibende Knabe des älteren und die Klavierspielerin des jüngeren Droz, welche letztere auch beim Spiele gleichzeitig ihren Händen mit den Augen folgte, und nach beendeter Kunstleistung aufstand, um der Gesellschaft eine höfliche Verbeugung zu machen. Es würde unbegreiflich sein, dass Männer, wie die genannten, deren Talent sich mit den erfindungsreichsten Köpfen unseres Jahrhunderts messen kann, eine so

Digitized by Google

ungeheure Zeit und Mühe, einen solchen Aufwand von Scharfsinn an die Ausführung dieser Automaten hätten wenden können, die uns nur noch als eine äusserst kindliche Spielerei erscheinen, wenn sie nicht gehofft hätten, dieselbe Aufgabe auch in wirklichem Ernste lösen zu können. Der schreibende Knabe des älteren Droz wurde noch vor einigen Jahren in Deutschland öffentlich gezeigt. Sein Räderwerk ist so verwickelt, dass kein ganz gemeiner Kopf dazu gehören möchte, auch nur dessen Wirkungsweise zu enträthseln. Wenn uns aber erzählt wird, dass dieser Knabe und sein Erbauer, der schwarzen Kunst verdächtig, eine Zeitlang in den Kerkern der spanischen Inquisition geschmachtet haben sollen, und nur mit Mühe ihre Lossprechung erlangten, so geht daraus hervor, dass die Menschenähnlichkeit selbst dieser Spielwerke in jenen Zeiten gross genug erschien, um sogar ihren natürlichen Ursprung verdächtig zu machen. Und wenn jene Mechaniker auch vielleicht nicht die Hoffnung hegten, den Geschöpfen ihres Scharfsinns eine Seele mit moralischen Vollkommenheiten einzublasen, so würde doch mancher die moralischen Vollkommenheiten seiner Diener gern entbehren, wenn dabei ihre moralischen Unvollkommenheiten gleichzeitig beseitigt werden könnten, und ausserdem die Regelmässigkeit einer Maschine, sowie die Dauerhaftigkeit von Messing und Stahl statt der Vergänglichkeit von Fleisch und Bein gewonnen würde. Das Ziel also, welches sich die erfinderischen Köpfe der vergangenen Jahrhunderte, wir können nicht zweifeln, mit vollem Ernste und nicht etwa als einen hübschen Tand vorsteckten, war kühn gewählt, und wurde mit einem Aufwande von Scharfsinn verfolgt, der nicht wenig zur Bereicherung der mechanischen Hilfsmittel beigetragen hat, mit deren Hilfe die spätere Zeit einen fruchtbringenderen Weg zu verfolgen verstand. Wir suchen jetzt nicht mehr Maschinen zu bauen, welche die tausend verschiedenen Dienstleistungen eines Menschen vollziehen, sondern verlangen im Gegentheil, dass eine Maschine eine Dienstleistung, aber an Stelle von tausend Menschen, verrichte.

Aus diesem Streben, lebende Geschöpfe nachzumachen, scheint sich zunächst — auch wieder durch ein Missverständniss — eine andere Idee entwickelt zu haben, welche gleichsam der neue Stein der Weisen des siebzehnten und achtzehnten Jahrhunderts wurde. Es handelte sich darum, ein Perpetuum mobile herzustellen. Darunter verstand man eine Maschine, welche, ohne dass sie aufgezogen würde, ohne dass man, um sie zu treiben, fallendes Wasser, Wind oder andere Naturkräfte anzuwenden brauchte, von selbst

Digitized by Google

fortdauernd in Bewegung bliebe, indem sie sich ihre Triebkraft unaufhörlich aus sich selbst erzeugte. Thiere und Menschen schienen im Wesentlichen der Idee eines solchen Apparates zu entsprechen, denn sie bewegten sich kräftig und anhaltend, so lange sie lebten, niemand zog sie auf oder stiess sie an. Einen Zusammenhang zwischen der Nahrungsaufnahme und der Kraftentwickelung wusste man sich nicht zurecht zu machen. Die Nahrung schien nur nöthig, um gleichsam die Räder der thierischen Maschine zu schmieren, das Abgenutzte zu ersetzen, das Alt gewordene zu erneuern. Krafterzeugung aus sich selbst schien die wesentlichste Eigenthümlichkeit, die rechte Quintessenz des organischen Lebens zu sein. Wollte man also Menschen nachmachen, so musste zuerst das Perpetuum mobile gefunden werden.

Daneben scheint eine andere Hoffnung die zweite Stelle eingenommen zu haben, welche in unserem klügeren Zeitalter jedenfalls auf den ersten Rang in den Köpfen der Menschen Anspruch gemacht haben würde. Das Perpetuum mobile sollte nämlich unerschöpfliche Arbeitskraft ohne entsprechenden Verbrauch, also aus nichts, erschaffen. Aber Arbeit ist Geld. Hier winkte also die goldene Lösung der grossen praktischen Aufgabe, der die schlauen Leute aller Jahrhunderte auf den verschiedensten Wegen nachgegangen sind, nämlich: Geld aus nichts zu machen. Die Aehnlichkeit mit dem Steine der Weisen, den die alten Alchimisten suchten, war vollständig; auch jener sollte die Quintessenz des organischen Lebens enthalten, und sollte fähig sein, Gold zu machen.

Der Sporn, der zum Suchen antrieb, war scharf, und das Talent derjenigen, welche suchten, dürfen wir zum Theil nicht gering anschlagen. Die Art der Aufgabe war ganz geeignet, um grüblerische Köpfe gefangen zu nehmen, Jahre lang im Kreise herum zu führen, durch die scheinbar immer näher rückende Hoffnung immer wieder zu täuschen, und endlich bis zum Blödsinn zu verwirren. Das Phantom wollte sich nicht greifen lassen. Es würde unmöglich sein, eine Geschichte dieser Bestrebungen zu entwerfen, da die besseren Köpfe, unter denen auch der ältere **Droz** genannt wird, sich selbst von der Erfolglosigkeit ihrer Versuche überzeugten, und natürlich nicht geneigt waren viel davon zu sprechen. Verwirrtere Köpfe aber verkündeten oft genug, dass ihnen der grosse Fund gelungen sei, und da sich die Unrichtigkeit ihres Vorgebens immer bald erwies, kam die Sache in Verruf; es befestigte sich allmälig die Meinung, die Aufgabe sei nicht zu lösen, auch

Digitized by Google

bezwang die mathematische Mechanik eines der hierher gehörigen Probleme nach dem anderen, und gelangte endlich dahin, streng und allgemein nachzuweisen, dass wenigstens durch Benutzung rein mechanischer Kräfte kein Perpetuum mobile erzeugt werden könne.

Wir sind hier auf den Begriff der Triebkraft oder Arbeitskraft von Maschinen gekommen, und werden damit auch weiter sehr viel zu thun haben. Ich muss deshalb eine Erklärung davon geben. Der Begriff der Arbeit ist auf Maschinen offenbar übertragen worden, indem man ihre Verrichtungen mit denen der Menschen und Thiere verglich, zu deren Ersatz sie bestimmt waren. Noch heute berechnet man die Arbeit der Dampfmaschinen nach Pferdekräften. Der Werth der menschlichen Arbeit bestimmt sich nun zum Theil nach dem Kraftaufwande, der damit verbunden ist (ein stärkerer Arbeiter wird höher geschätzt), zum Theil aber auch nach der Geschicklichkeit, welche erfordert wird. Geschickte Arbeiter sind nicht augenblicklich in beliebiger Menge zu schaffen; sie müssen Talent und Unterricht haben, ihre Ausbildung erfordert Zeit und Mühe. Eine Maschine dagegen, die irgend eine Arbeit gut ausführt, kann zu jeder Zeit in beliebig vielen Exemplaren hergestellt werden; deshalb hat ihre Geschicklichkeit nicht den überwiegenden Werth, den menschliche Geschicklichkeit in solchen Feldern hat, wo sie durch Maschinen nicht ersetzt werden kann. Man hat deshalb den Begriff der Arbeitsgrösse bei Maschinen eingeschränkt auf die Betrachtung des Kraftaufwandes, was um so wichtiger war, da in der That die meisten Maschinen dazu bestimmt sind, gerade durch die Gewalt ihrer Wirkungen Menschen und Thiere zu übertreffen. Deshalb ist im mechanischen Sinne der Begriff der Arbeit gleich dem des Kraftaufwandes geworden, und ich werde ihn auch im Folgenden nur so anwenden.

Wie kann dieser Kraftaufwand nun gemessen und bei verschiedenen Maschinen mit einander verglichen werden?

Ich muss Sie hier ein Stückchen Weges — es soll so kurz als möglich werden — durch das wenig anmuthige Feld mathematisch-mechanischer Begriffe hinführen, um Sie nach einem Standpunkte zu bringen, von wo sich eine lohnendere Aussicht eröffnen wird; und wenn das Beispiel, welches ich zu Grunde lege, eine Wassermühle mit Eisenhammer, noch leidlich romantisch aussieht, so muss ich leider das dunkle Waldthal, den schäumenden Bach, die funkensprühende Esse und die schwarzen Cyclopengestalten unberücksichtigt lassen, und einen Augenblick um Aufmerksamkeit für die

Digitized by Google

weniger poetischen Seiten des Maschinenwerks bitten. Dieses wird durch ein Wasserrad getrieben, welches die herabstürzenden Wassermassen in Bewegung setzen. Die Axe des Wasserrades hat an einzelnen Stellen kleine Vorsprünge, Daumen, welche während der Umdrehung die Stiele der schweren Hämmer fassen, um sie zu heben und dann wieder fallen zu lassen. Der fallende Hammer bearbeitet die Metallmasse, welche ihm untergeschoben wird. Die Arbeit, welche die Maschine verrichtet, besteht also in diesem Falle darin, dass sie die Masse des Hammers hebt, zu welchem Ende sie die Schwere dieser Masse überwinden muss. Ihr Kraftaufwand wird also zunächst unter übrigens gleichen Umständen dem Gewichte des Hammers proportional sein, wird also z. B. verdoppelt werden müssen, wenn jenes Gewicht verdoppelt wird. Aber die Leistung des Hammers hängt nicht bloss von seinem Gewichte, sondern auch von der Höhe ab, aus der er fällt. Wenn er zwei Fuss herabfällt, wird er eine grössere Wirkung thun, als wenn er nur einen Fuss fiele. Nun ist aber klar, dass wenn die Maschine mit einem gewissen Kraftaufwande den Hammer erst um einen Fuss gehoben hat, sie denselben Kraftaufwand noch einmal wird anwenden müssen, um ihn einen zweiten Fuss weiter zu heben. Die Arbeit wird also nicht nur verdoppelt, wenn das Gewicht des Hammers verdoppelt wird, sondern auch, wenn die Fallhöhe verdoppelt wird. Daraus ist leicht ersichtlich, dass wir die Arbeit zu messen haben durch das Product des gehobenen Gewichtes, multiplicirt mit dem Fallraume. Und so misst die Mechanik in der That; sie nennt ihr Maass der Arbeit ein Fusspfund, d. h. ein Pfund Gewicht, gehoben um einen Fuss.

Während nun die Arbeit unseres Eisenhammers darin besteht, dass er die schweren Hammerköpfe in die Höhe hebt, wird die Triebkraft, welche ihn in Bewegung setzt, dadurch erzeugt, dass Wassermassen herunterfallen. Das Wasser braucht allerdings nicht immer senkrecht herabzufallen, es kann auch in einem mässig geneigten Bette herabfliessen, aber es muss sich doch immer, wo es Wassermühlen treiben soll, von einem höheren Orte zu einem tieferen begeben. Erfahrung und Theorie lehren nun übereinstimmend, dass wenn ein Hammer von einem Centner Gewicht um einen Fuss gehoben werden soll, dazu mindestens ein Centner Wasser um einen Fuss fallen muss, oder, was dem äquivalent ist, zwei Centner um einen halben Fuss, oder vier Centner um einen viertel Fuss u. s. w. Kurz, wenn wir das Gewicht der fallenden Wassermasse ebenso mit der Höhe des Falls

Digitized by Google

multipliciren und als Maass ihrer Arbeit betrachten, wie wir es bei dem Hammer gemacht haben, so kann die Arbeit, welche die Maschine durch Hebung eines Hammers leistet, ausgedrückt in Fusspfunden, im günstigsten Falle nur ebenso gross sein, wie die Zahl der Fusspfunde des in derselben Zeit stürzenden Wassers. In Wirklichkeit wird sogar das Verhältniss gar nicht erreicht, sondern es geht ein grosser Theil der Arbeit des stürzenden Wassers ungenutzt verloren, weil man gern von der Kraft etwas opfert, um eine grössere Schnelligkeit zu erzielen.

Ich bemerke noch, dass dieses Verhältniss ungeändert bleibt, man mag nun die Hämmer unmittelbar von der Welle des Wasserrades treiben lassen, oder man mag die Bewegung des Rades durch zwischengeschobene gezahnte Räder, unendliche Schrauben, Rollen und Seile auf die Hämmer übertragen. Man kann durch solche Mittel allerdings bewirken, dass das Wasserwerk, welches bei der ersten einfachen Einrichtung nur einen Hammer von einem Centner Gewicht heben konnte, in den Stand gesetzt wird, einen solchen von 10 Centnern zu heben, aber entweder wird es diesen schwereren Hammer nur auf den zehnten Theil der Höhe heben, oder es wird zehnmal so lange Zeit dazu gebrauchen, so dass es schliesslich, wie sehr wir auch durch Maschinenwerk die Intensität der wirkenden Kraft abändern mögen, doch in einer bestimmten Zeit, während welcher uns der Bach eine bestimmte Wassermasse liefert, immer nur eine bestimmte Arbeit leisten kann.

Unser Maschinenwerk hat also zunächst weiter nichts gethan, als die Schwerkraft fallenden Wassers benutzt, um die Schwerkraft seiner Hämmer zu überwinden, und diese zu heben. Wenn es einen Hammer so weit als nöthig gehoben hat, lässt es ihn wieder los; er stürzt auf die Metallmassen herab, die ihm untergeschoben sind, und bearbeitet diese. Warum übt nun der stürzende Hammer eine grössere Gewalt aus, als wenn man ihn einfach durch sein Gewicht auf die Metallmasse, welche er bearbeiten soll, drücken lässt? Warum ist seine Gewalt desto grösser, je höher er gefallen ist, und je grösser daher seine Fallgeschwindigkeit ist? Wir finden hier, dass die Arbeitsgrösse des Hammers durch seine Geschwindigkeit bedingt ist. Auch bei anderen Gelegenheiten ist die Geschwindigkeit bewegter Massen ein Mittel grosse Wirkungen hervorzubringen. Ich erinnere an die zerstörenden Wirkungen abgeschossener Büchsenkugeln, welche in ruhendem Zustande die unschuldigsten Dinge von der Welt sind; ich erinnere an die Windmühlen, welche ihre Triebkraft von der bewegten Luft entnehmen. Es

Digitized by Google

mag uns überraschen, dass die Bewegung, die uns als eine so unwesentliche und vergängliche Beigabe der materiellen Körper erscheint, so mächtige Wirkungen ausüben könne. Aber in der That erscheint uns die Bewegung in gewöhnlichen Verhältnissen nur deshalb so vergänglich, weil den Bewegungen aller irdischen Körper fortdauernd widerstehende Kräfte, Reibung, Luftwiderstand u. s. w. entgegenwirken, so dass sie fortdauernd geschwächt und endlich aufgehoben werden. Ein Körper aber, dem sich keine widerstehenden Kräfte entgegensetzen, wenn er einmal in Bewegung gesetzt ist, bewegt sich fort mit unverminderter Geschwindigkeit in alle Ewigkeit. So wissen wir, dass die Planeten den freien Weltraum seit Jahrtausenden in unveränderter Weise durcheilen. Nur durch widerstehende Kräfte kann Bewegung verlangsamt und vernichtet werden. Ein bewegter Körper, wie der schlagende Hammer oder die abgeschossene Kugel, wenn er gegen einen anderen stösst, presst diesen zusammen oder dringt in ihn ein, bis die Summe der Widerstandskräfte, welche der getroffene Körper seiner Compression oder der Trennung seiner Theilchen entgegensetzt, gross genug geworden ist, um die Bewegung des Hammers oder der Kugel zu vernichten. Man nennt die Bewegung einer Masse, insofern sie Arbeitskraft vertritt, die lebendige Kraft der Masse. Das Wort lebendig bezieht sich hier natürlich in keiner Weise auf lebende Wesen, sondern soll die Kraft der Bewegung nur unterscheiden von dem ruhigen Zustande unveränderten Bestehens, in dem sich z. B. die Schwerkraft eines ruhenden Körpers befindet, welche zwar einen fortdauernden Druck gegen seine Unterlage unterhält, aber keine Veränderung hervorbringt.

In unserem Eisenhammer hatten wir also zuerst Arbeitskraft in Form einer fallenden Wassermasse, dann in Form eines gehobenen Hammers, drittens in Form der lebendigen Kraft des gefallenen Hammers. Wir würden nun die dritte Form in die zweite zurückverwandeln können, wenn wir z. B. den Hammer auf einen höchst elastischen Stahlbalken fallen lassen, der stark genug wäre, um ihm zu widerstehen. Er würde zurückspringen, und zwar im günstigsten Falle so hoch zurückspringen können, als er herabgefallen ist, aber niemals höher. Dabei würde seine Masse also wieder emporsteigen, und uns in dem Augenblicke, wo sie ihren höchsten Punkt erreicht hat, wieder dieselbe Menge gehobener Fusspfunde darstellen können, wie vor dem Falle, niemals aber eine grössere, das heisst also: lebendige Kraft kann eine ebenso grosse

Digitized by Google

Menge Arbeit wiedererzeugen, wie die, aus der sie entstanden war. Sie ist also dieser Arbeitsgrösse äquivalent.

Unsere Wanduhren treiben wir durch sinkende Gewichte, die Taschenuhren durch gespannte Federn. Ein Gewicht, welches am Boden liegt, eine elastische Feder, welche erschlafft ist, kann keine Wirkungen hervorbringen; wir müssen, um solche zu erhalten, das Gewicht erst erheben, die Feder spannen. Das geschieht beim Aufziehen der Uhr. Der Mensch, welcher die Uhr aufzieht, theilt ihrem Gewichte oder ihrer Feder ein Gewisses an Arbeitskraft mit, und genau so viel, als ihr mitgetheilt ist, giebt sie in den nächsten 24 Stunden allmälig wieder aus, indem sie es langsam verbraucht, um die Reibung der Räder, den Luftwiderstand des Pendels zu überwinden. Das Räderwerk der Uhr bringt also keine Arbeitskraft hervor, die ihm nicht mitgetheilt wäre, sondern vertheilt nur die mitgetheilte gleichmässig auf eine längere Zeit.

In den Kolben einer Windbüchse treiben wir mittels einer Luftverdichtungspumpe eine grosse Menge Luft ein. Wenn wir nachher den Hahn des Kolbens öffnen und die verdichtete Luft in den Lauf der Büchse treten lassen, so treibt sie die eingeladene Kugel mit ähnlicher Gewalt, wie entzündetes Pulver, heraus. Nun können wir die Arbeit bestimmen, welche wir beim Einpumpen der Luft aufgewendet haben, und die lebendige Kraft, welche beim Abschiessen den Kugeln mitgetheilt ist; aber wir werden letztere nie grösser finden als erstere. Die comprimirte Luft hat keine Arbeitskraft erzeugt, sondern nur die ihr mitgetheilte an die abgeschossenen Kugeln abgegeben. Und während wir vielleicht eine Viertelstunde gepumpt haben, um die Büchse zu laden, ist die Kraft in den wenigen Secunden des Abschiessens verbraucht worden, hat aber, weil ihre Thätigkeit auf so kurze Zeit zusammengedrängt war, der Kugel auch eine viel grössere Geschwindigkeit mitgetheilt, als unser Arm durch eine einfache kurze Wurfbewegung gekonnt hätte.

Aus diesen Beispielen sehen Sie, und die mathematische Theorie hat es für alle Wirkungen rein mechanischer d. h. reiner Bewegungskräfte bestätigt, dass alle unsere Maschinen und Apparate keine Triebkraft erzeugen, sondern nur die Arbeitskraft, welche ihnen allgemeine Naturkräfte, fallendes Wasser und bewegter Wind, oder die Muskelkraft der Menschen und Thiere mitgetheilt haben, in anderer Form wieder ausgeben. Nachdem dieses Gesetz durch die grossen Mathematiker des vorigen Jahrhunderts allgemein festgestellt war, konnte ein Perpetuum mobile, welches nur

Digitized by Google

rein mechanische Kräfte, als da sind Schwere, Elasticität, Druck der Flüssigkeiten und Gase benutzen wollte, nur noch von verwirrten und schlecht unterrichteten Köpfen gesucht werden. Aber es giebt allerdings noch ein weites Gebiet von Naturkräften, welche nicht zu den reinen Bewegungskräften gerechnet werden, Wärme, Elektricität, Magnetismus, Licht, chemische Verwandtschaftskräfte, und welche doch alle in den mannigfaltigsten Beziehungen zu den mechanischen Vorgängen stehen. Es giebt kaum einen Naturprocess irgend welcher Art, bei dem nicht mechanische Wirkungen mit vorkämen, und durch den nicht mechanische Arbeit gewonnen werden könnte. Hier war aber die Frage nach einem Perpetuum mobile noch offen, und gerade die Entscheidung dieser Frage ist der Fortschritt der neueren Physik, über den ich zu berichten versprochen habe.

Bei der Windbüchse hatte der menschliche Arm, welcher die Luft einpumpte, die Arbeit hergegeben, welche beim Losschiessen zu leisten war. In den gewöhnlichen Feuergewehren entsteht dagegen die verdichtete Gasmasse, welche die Kugel austreibt, auf einem ganz anderen Wege, nämlich durch Verbrennung des Pulvers. Schiesspulver verwandelt sich nämlich bei seiner Verbrennung grösstentheils in luftartige Verbrennungsproducte, welche einen viel grösseren Raum einzunehmen streben, als das Volumen des Pulvers vorher betrug. Sie sehen also, dass uns der Gebrauch von Schiesspulver die Arbeit erspart, welche bei der Windbüchse der menschliche Arm ausführen musste.

Auch in den mächtigsten unserer Maschinen, den Dampfmaschinen, sind es stark comprimirte luftförmige Körper, die Wasserdämpfe, welche durch ihr Bestreben sich auszudehnen die Maschine in Bewegung setzen. Auch hier verdichten wir die Dämpfe nicht durch eine äussere mechanische Kraft, sondern indem wir Wärme zu einer Wassermasse in einem verschlossenen Kessel leiten, verwandeln wir dieses Wasser in Dampf, der wegen des engen Raumes sogleich unter starker Pressung entsteht. Es ist also die zugeleitete Wärme, welche hier mechanische Kraft erzeugt. Diese zur Heizung der Maschine nöthige Wärme würden wir nun auf mancherlei Weise gewinnen können; die gewöhnliche Methode ist, sie durch Verbrennung von Kohle zu erhalten.

Die Verbrennung ist ein chemischer Process. Ein besonderer Bestandtheil unserer Atmosphäre, das Sauerstoffgas, besitzt eine mächtige Anziehungskraft, oder wie es die Chemie nennt, eine starke Verwandtschaft zu den Bestandtheilen der brennbaren Körper, wel-

Digitized by Google

che aber meist erst in höherer Temperatur in Wirksamkeit treten kann. Sobald ein Theil des brennbaren Körpers, z. B. der Kohle, hinreichend erhitzt wird, vereinigt sich der Kohlenstoff mit grosser Heftigkeit mit dem Sauerstoff der Atmosphäre zu einer eigenthümlichen Gasart, der Kohlensäure, derselben, welche aus schäumendem Bier und Champagner entweicht. Bei dieser Verbindung entsteht Wärme und Licht, wie denn überhaupt bei jeder chemischen Vereinigung zweier Körper von starker Verwandtschaft Wärme entsteht, und wenn die Wärme bis zum Glühen geht, Licht. Schliesslich sind es also in der Dampfmaschine chemische Processe und chemische Kräfte, welche die staunenswerthen Arbeitsgrössen dieser Maschinen liefern. Ebenso ist die Verbrennung des Schiesspulvers ein chemischer Process, der im Feuergewehre der Kugel ihre lebendige Kraft giebt.

Während uns die Dampfmaschine aus Wärme mechanische Arbeit entwickelt, können wir durch mechanische Kräfte auch Wärme erzeugen. Jeder Stoss, jede Reibung thut es. Ein geschickter Schmidt kann einen eisernen Keil durch blosses Hämmern glühend machen; die Axen unserer Wagenräder müssen durch sorgfältiges Schmieren vor der Entzündung durch Reibung geschützt werden. Ja, man hat sogar neuerdings dies in grösserem Maassstabe benutzt. In einigen Fabriken, wo überflüssige Wasserkraft vorhanden war, verwendete man diese, um zwei grosse eiserne Platten, deren eine schnell um ihre Axe lief, auf einander reiben zu lassen, so dass sie sich stark erhitzten. Die gewonnene Wärme heizte das Zimmer, und man hatte einen Ofen ohne Brennmaterial. Könnte nun nicht vielleicht die von den Platten erzeugte Wärme hinreichen, um eine kleine Dampfmaschine zu heizen, welche wiederum im Stande wäre, die Platten in Bewegung zu halten? Da wäre das Perpetuum mobile ja gefunden. Diese Frage konnte gestellt werden, und war durch die älteren mathematisch-mechanischen Untersuchungen nicht zu entscheiden. Ich bemerke gleich voraus, dass das allgemeine Gesetz, welches ich Ihnen darlegen will, sie mit Nein beantworten wird.

Durch einen ähnlichen Plan setzte vor nicht langer Zeit ein speculativer Amerikaner die industrielle Welt Europas in Aufregung. Dem Publicum sind die magnetelektrischen Maschinen mehrfach als Mittel zur Behandlung der rheumatischen Krankheiten und Lähmungen bekannt geworden. Indem man den Magneten einer solchen Maschine in schnelle Umdrehung versetzt, erhält man kräftige Ströme von Elektricität. Leitet man diese durch

Digitized by Google

Wasser, so zersetzen sie das Wasser in seine beiden Bestandtheile: Wasserstoffgas und Sauerstoffgas. Durch Verbrennung des Wasserstoffs entsteht wieder Wasser. Geschieht diese Verbrennung nicht in atmosphärischer Luft, von der das Sauerstoffgas nur den fünften Theil ausmacht, sondern in reinem Sauerstoffgase, und bringt man in die Flamme ein Stückchen Kreide, so wird dieses weissglühend und giebt das sonnenähnliche Drummond'sche Kalklicht. Gleichzeitig entwickelt die Flamme eine sehr bedeutende Wärmemenge. Unser Amerikaner wollte nun die durch elektrische Zersetzung des Wassers gewonnenen Gasarten in dieser Weise verwerthen und behauptete bei ihrer Verbrennung hinreichende Wärme erhalten zu haben, um eine kleine Dampfmaschine damit zu heizen, welche ihm wiederum seine magnetelektrische Maschine trieb, das Wasser zersetzte und sich so ihr eigenes Brennmaterial fortdauernd selbst bereitete. Dies wäre allerdings die herrlichste Erfindung von der Welt gewesen, ein Perpetuum mobile, welches neben der Triebkraft auch noch sonnenähnliches Licht erzeugte und die Zimmer erwärmte. Ausgesonnen war die Sache nicht übel. Jeder einzelne Schritt in dem angegebenen Verfahren war als möglich bekannt, aber diejenigen, welche damals mit den physikalischen Arbeiten, die sich auf unser heutiges Thema beziehen, schon bekannt waren, konnten gleich bei den ersten Berichten behaupten: dass die Sache in die Zahl der vielen Märchen des fabelreichen Amerika gehöre; und in der That blieb sie ein Märchen.

Es ist unnöthig, noch mehr Beispiele zu häufen. Sie entnehmen aus den gegebenen schon, in wie enger Verbindung Wärme, Electricität, Magnetismus, Licht, chemische Verwandtschaften mit den mechanischen Kräften stehen.

Von jeder dieser verschiedenen Erscheinungsweisen der Naturkräfte aus kann man jede andere in Bewegung setzen, meistens nicht bloss auf einem, sondern auf mannigfach verschiedenen Wegen. Es ist damit, wie mit dem Webermeisterstück,

> Wo ein Tritt tausend Fäden regt,
> Die Schifflein herüber hinüber schiessen,
> Die Fäden ungesehen fliessen,
> Ein Schlag tausend Verbindungen schlägt.

Nun ist es klar, dass, wenn es auf irgend einem Wege gelänge, in dem Sinne, wie jener Amerikaner gethan zu haben vorgab, durch mechanische Kräfte chemische, elektrische oder andere Naturprocesse hervorzurufen, welche auf irgend einem Umwege, aber ohne die in der Maschine thätigen Massen bleibend zu verändern, wie-

Digitized by Google

der mechanische Kräfte, und zwar in grösserer Menge erzeugten, als zuerst angewendet waren, man einen Theil der gewonnenen Kraft anwenden könnte, um die Maschine in Gang zu halten, und den Rest der Arbeit zu beliebigen anderen Zwecken benutzen. Es kam nur darauf an, in dem verwickelten Netze von Wechselwirkungen der Naturkräfte von mechanischen Processen ausgehend, irgend einen Cirkelweg durch chemische, elektrische, magnetische, thermische Processe wieder zu mechanischen zurückzufinden, der mit endlichem Gewinne von mechanischer Arbeit zurückzulegen wäre, so war das Perpetuum mobile gefunden.

Aber gewarnt durch die Erfolglosigkeit früherer Versuche, war man klüger geworden. Es wurde im Ganzen nicht viel nach Combinationen gesucht, welche das Perpetuum mobile zu liefern versprachen, sondern man kehrte die Frage um. Man fragte nicht mehr: Wie kann ich die bekannten und unbekannten Beziehungen zwischen den Naturkräften benutzen, um ein Perpetuum mobile zu construiren? sondern man fragte: Wenn ein Perpetuum mobile unmöglich sein soll, welche Beziehungen müssen dann zwischen den Naturkräften bestehen? Mit dieser Umkehr der Frage war alles gewonnen. Man konnte die Beziehungen der Naturkräfte zu einander, welche durch die genannte Annahme gefordert werden, leicht vollständig hinstellen; man fand, dass sämmtliche bekannte Beziehungen der Kräfte sich den Folgerungen jener Annahme fügen, und man fand gleichzeitig eine Reihe noch unbekannter Beziehungen, deren thatsächliche Richtigkeit zu prüfen war. Erwies sich eine einzige als unrichtig, so gab es ein Perpetuum mobile.

Der Erste, welcher diesen Weg zu betreten suchte, war ein Franzose, S. Carnot, im Jahre 1824. Trotz einer zu beschränkten Auffassung seines Gegenstandes und einer falschen Ansicht von der Natur der Wärme, welche ihn zu einigen irrthümlichen Schlüssen verführte, missglückte sein Versuch nicht ganz. Er fand ein Gesetz, welches jetzt seinen Namen trägt, und auf welches ich noch zurückkommen werde.

Seine Arbeit blieb lange Zeit so gut wie unberücksichtigt, und erst 18 Jahre später, von 1842 an, fassten verschiedene Forscher in verschiedenen Ländern unabhängig von Carnot denselben Gedanken. Der Erste, welcher das allgemeine Naturgesetz, um welches es sich hier handelt, richtig auffasste und aussprach, war ein deutscher Arzt, J. R. Mayer in Heilbronn, im Jahre 1842 [1]). Wenig später, 1843, übergab ein Däne, Colding, der Akademie von Kopenhagen eine Abhandlung, welche dasselbe Gesetz aussprach und

[1]) Siehe den ersten Anhang am Schluss dieser Vorlesung.

Digitized by Google

auch einige Versuchsreihen zu seiner weiteren Begründung enthielt. In England hatte Joule um dieselbe Zeit angefangen, Versuchsreihen anzustellen, welche sich auf denselben Gegenstand bezogen. Wir finden es häufig bei Fragen, zu deren Bearbeitung der zeitige Entwickelungsgang der Wissenschaft hindrängt, dass mehrere Köpfe, ganz unabhängig von einander, eine genau übereinstimmende neue Gedankenreihe erzeugen.

Ich selbst hatte, ohne von Mayer und Colding etwas zu wissen, und mit Joule's Versuchen erst am Ende meiner Arbeit bekannt geworden, denselben Weg betreten; ich bemühte mich namentlich, alle Beziehungen zwischen den verschiedenen Naturprocessen aufzusuchen, welche aus der angegebenen Betrachtungsweise zu folgern waren, und veröffentlichte meine Untersuchungen 1847 in einer kleinen Schrift unter dem Titel: „Ueber die Erhaltung der Kraft."

Seitdem ist im wissenschaftlichen Publicum das Interesse an diesem Gegenstande allmälig gewachsen, namentlich in England, wie ich mich bei einem Aufenthalte daselbst im letzten Sommer zu überzeugen Gelegenheit hatte. Eine grosse Zahl der wesentlichen Folgerungen jener Betrachtungsweise, deren experimenteller Beweis zur Zeit der ersten theoretischen Arbeiten noch fehlte, ist durch Versuche bestätigt worden, namentlich durch die von Joule, und im letzten Jahre hat auch der bedeutendste der französischen Physiker, Regnault, die neue Anschauungsweise angenommen und durch neue Untersuchungen über die specifische Wärme der Gasarten wesentlich zu ihrer Stütze beigetragen. Noch fehlt für einige wichtige Folgerungen der experimentelle Beweis, aber die Zahl der Bestätigungen ist so überwiegend, dass ich es nicht für verfrüht halte, auch ein nicht wissenschaftliches Publicum von diesem Gegenstande zu unterhalten.

Wie die Entscheidung der angeregten Frage ausgefallen ist, können Sie sich nach dem Vorausgeschickten nun schon denken. Es giebt durch die ganze Reihe der Naturprocesse keinen Cirkelweg, um ohne entsprechenden Verbrauch mechanische Kraft zu gewinnen. Das Perpetuum mobile bleibt unmöglich. Dadurch gewinnen aber unsere Betrachtungen ein höheres Interesse.

Wir haben bisher die Kraftentwickelung durch Naturprocesse nur in ihrem Verhältnisse zum Nutzen des Menschen betrachtet, als Arbeitskraft in Maschinen. Jetzt sehen wir, dass wir auf ein allgemeines Naturgesetz gekommen sind, welches stattfindet ganz unabhängig von der Anwendung, die der Mensch den Naturkräf-

Digitized by Google

ten giebt, wir müssen deshalb auch den Ausdruck des Gesetzes dieser allgemeineren Bedeutung anpassen. Zunächst ist es klar, dass wir die Arbeit, welche durch irgend einen Naturprocess in einer Maschine unter günstigen Bedingungen erzeugt werden und die in der früher angegebenen Weise auch gemessen werden kann, als ein allen gemeinsames Maass der Kraft benutzen können. Ferner entsteht die wichtige Frage, wenn die Menge der Arbeitskraft ohne entsprechenden Verbrauch nicht vermehrt werden kann, kann sie vermindert werden oder verloren gehen? Für die Zwecke unserer Maschinen allerdings, wenn wir die Gelegenheit verabsäumen, aus den Naturprocessen Nutzen zu ziehen, aber, wie die Untersuchung weiter ergeben hat, nicht für das Naturganze.

Beim Stosse und der Reibung zweier Körper gegen einander nahm die ältere Mechanik an, dass lebendige Kraft einfach verloren gehe. Aber ich habe schon angeführt, dass jeder Stoss und jede Reibung Wärme erzeugt, und zwar hat Joule das wichtige Gesetz durch Versuche erwiesen, dass für jedes Fusspfund Arbeit, was verloren geht, immer eine genau bestimmte Menge Wärme entsteht, und dass, wenn durch Wärme Arbeit gewonnen wird, für jedes Fusspfund gewonnener Arbeit wiederum jene Menge Wärme verschwindet. Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur eines Pfundes Wasser um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers zu erhöhen, entspricht einer Arbeitskraft, wodurch ein Pfund auf 425 Meter gehoben wird; man nennt diese Grösse das mechanische Aequivalent der Wärme. Ich bitte zu bemerken, wie diese Thatsachen nothwendig zu dem Schlusse führen, dass die Wärme nicht, wie früher ziemlich allgemein angenommen wurde, ein feiner unwägbarer Stoff, dass sie vielmehr, ähnlich dem Lichte und Schalle, eine besondere Form zitternder Bewegung der kleinsten Körpertheile sei. Bei Reibung und Stoss geht nach dieser Vorstellungsweise die scheinbar verlorene Bewegung der ganzen Massen nur in eine Bewegung ihrer kleinsten Theile über, und bei der Erzeugung von Triebkraft durch Wärme geht umgekehrt die Bewegung der kleinsten Theile wieder in eine solche der ganzen Massen über.

Chemische Verbindungen erzeugen Wärme, und zwar ist deren Menge durchaus unabhängig von der Zeitdauer und den Zwischenstufen, in denen die Verbindung vor sich gegangen ist, vorausgesetzt, dass nicht noch andere Wirkungen dabei hervorgebracht werden. Wird aber auch gleichzeitig, wie in der Dampfmaschine, mechanische Arbeit erzeugt, so erhalten wir so viel Wärme weni-

Digitized by Google

ger, als dieser Arbeit äquivalent ist. Die Arbeitsgrösse der chemischen Kräfte ist übrigens im Allgemeinen sehr gross. Ein Pfund reinste Kohle giebt z. B. verbrannt so viel Wärme, um 8086 Pfund Wasser um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers zu erwärmen; daraus berechnen wir, dass die Grösse der chemischen Anziehungskraft zwischen den kleinsten Theilchen von einem Pfund Kohle und dem dazu gehörigen Sauerstoffe fähig ist, 100 Pfund auf 4½ Meilen Höhe zu heben. Leider sind wir in unseren Dampfmaschinen bisher nur im Stande, den kleinsten Theil dieser Arbeit wirklich zu gewinnen, das meiste geht in der Form von Wärme unbenutzt verloren. Die besten Expansions-Dampfmaschinen geben nur 18 Proc. der durch das Brennmaterial erzeugten Wärme als mechanische Arbeit.

Aus einer ähnlichen Untersuchung aller übrigen bekannten physikalischen und chemischen Processe geht nun hervor, dass das Naturganze einen Vorrath wirkungsfähiger Kraft besitzt, welcher in keiner Weise weder vermehrt noch vermindert werden kann, dass also die Quantität der wirkungsfähigen Kraft in der unorganischen Natur eben so ewig und unveränderlich ist, wie die Quantität der Materie. In dieser Form ausgesprochen, habe ich das allgemeine Gesetz das Princip von der Erhaltung der Kraft genannt.

Wir Menschen können für menschliche Zwecke keine Arbeitskraft erschaffen, sondern wir können sie uns nur aus dem allgemeinen Vorrathe der Natur aneignen. Der Waldbach und der Wind, die unsere Mühlen treiben, der Forst und das Steinkohlenlager, welche unsere Dampfmaschinen versehen und unsere Zimmer heizen, sind uns nur Träger eines Theiles des grossen Kraftvorrathes der Natur, den wir für unsere Zwecke auszubeuten und dessen Wirkungen wir nach unserem Willen zu lenken suchen. Der Mühlenbesitzer spricht die Schwere des herabfliessenden Wassers oder die lebendige Kraft des vorbeistreichenden Windes als sein Eigenthum an. Diese Theile des allgemeinen Kraftvorrathes sind es, die seinem Besitzthum den Hauptwerth geben.

Daraus übrigens, dass kein Theilchen Arbeitskraft absolut verloren geht, folgt noch nicht, dass es nicht für menschliche Zwecke unanwendbar werden könne. In dieser Beziehung sind die Folgerungen wichtig, welche W. Thomson aus dem schon erwähnten Gesetze von Carnot gezogen hat. Dieses Gesetz, welches Carnot allerdings fand, indem er sich bemühte, die Beziehungen zwischen Wärme und Arbeit aufzusuchen, welches aber keineswegs zu den

Digitized by Google

nothwendigen Folgerungen der Erhaltung der Kraft gehört und durch Clausius erst in dem Sinne abgeändert ist, dass es jenem allgemeinen Naturgesetze nicht mehr widerspricht, giebt einen gewissen Zusammenhang an zwischen der Zusammendrückbarkeit, Wärmecapacität und Ausdehnung durch Wärme für alle Körper. Es ist noch nicht als vollständig thatsächlich erwiesen zu betrachten, hat aber durch einige merkwürdige Thatsachen, die man aus ihm vorausgesagt und später durch Versuche bestätigt hat, eine grosse Wahrscheinlichkeit bekommen. Man kann ihm ausser der von Carnot zuerst aufgestellten mathematischen Form auch folgenden allgemeineren Ausdruck geben: „Nur wenn Wärme von einem wärmeren zu einem kälteren Körper übergeht, kann sie, und auch dann nur theilweise, in mechanische Arbeit verwandelt werden.“

Die Wärme eines Körpers, den wir nicht weiter abkühlen können, können wir auch nicht in eine andere Wirkungsform, in mechanische, elektrische oder chemische Kräfte zurückführen. So verwandeln wir in unseren Dampfmaschinen einen Theil der Wärme der glühenden Kohlen in Arbeit, indem wir sie an das weniger warme Wasser des Kessels übergehen lassen; wenn aber sämmtliche Körper der Natur eine und dieselbe Temperatur hätten, würde es unmöglich sein, irgend einen Theil ihrer Wärme wieder in Arbeit zu verwandeln. Demgemäss können wir den gesammten Kraftvorrath des Weltganzen in zwei Theile theilen: der eine davon ist Wärme und muss Wärme bleiben, der andere, zu dem ein Theil der Wärme der heisseren Körper und der ganze Vorrath chemischer, mechanischer, elektrischer und magnetischer Kräfte gehört, ist der mannigfachsten Formveränderung fähig und unterhält den ganzen Reichthum wechselnder Veränderungen in der Natur.

Aber die Wärme heisser Körper strebt fortdauernd durch Leitung und Strahlung auf die weniger warmen überzugehen und Temperaturgleichgewicht hervorzubringen. Bei jeder Bewegung irdischer Körper geht durch Reibung oder Stoss ein Theil mechanischer Kraft in Wärme über, von der nur ein Theil wieder zurückverwandelt werden kann; dasselbe ist in der Regel bei jedem chemischen und elektrischen Processe der Fall. Daraus folgt also, dass der erste Theil des Kraftvorraths, die unveränderliche Wärme, bei jedem Naturprocesse fortdauernd zunimmt, der zweite, der der mechanischen, elektrischen, chemischen Kräfte, fortdauernd abnimmt; und wenn das Weltall ungestört dem Ablaufe seiner physikalischen Processe überlassen wird, wird endlich aller Kraftvorrath

Digitized by Google

in Wärme übergehen und alle Wärme in das Gleichgewicht der Temperatur kommen. Dann ist jede Möglichkeit einer weiteren Veränderung erschöpft, dann muss vollständiger Stillstand aller Naturprocesse von jeder nur möglichen Art eintreten. Auch das Leben der Pflanzen, Menschen und Thiere kann natürlich nicht weiter bestehen, wenn die Sonne ihre höhere Temperatur und damit ihr Licht verloren hat, wenn sämmtliche Bestandtheile der Erdoberfläche die chemischen Verbindungen geschlossen haben werden, welche ihre Verwandtschaftskräfte fordern. Kurz das Weltall wird von da an zu ewiger Ruhe verurtheilt sein.

Diese Folgerung des Gesetzes von Carnot ist natürlich nur dann bindend, wenn sich das Gesetz bei fortgesetzter Prüfung als allgemeingültig erweist. Indessen scheint wenig Aussicht zu sein, dass es nicht so sein sollte. Jedenfalls müssen wir Thomson's Scharfsinn bewundern, der zwischen den Buchstaben einer schon länger bekannten kurzen mathematischen Gleichung, welche nur von Wärme, Volumen und Druck der Körper spricht, Folgerungen zu lesen verstand, die dem Weltall, aber freilich erst nach unendlich langer Zeit, mit ewigem Tode drohen.

Ich habe Ihnen vorher angekündigt, dass uns unser Weg durch eine dornenvolle und unerquickliche Strecke mathematisch-mechanischer Begriffsentwickelungen führen würde. Jetzt haben wir diesen Theil des Weges zurückgelegt. Das allgemeine Princip, welches ich Ihnen darzulegen versucht habe, hat uns auf einen Standpunkt mit weitumfassenden Aussichten gebracht, und wir können mit seiner Hilfe jetzt nach Belieben diese oder jene Seite der umliegenden Welt betrachten, wie sie uns gerade am meisten interessirt. Die Blicke in die engen Laboratorien der Physiker mit ihren kleinlichen Verhältnissen und verwickelten Abstractionen werden nicht so anziehend sein, als der Blick auf den weiten Himmel über uns, Wolken, Flüsse, Wälder und lebende Geschöpfe um uns. Wenn ich dabei Gesetze, welche zunächst nur von den physikalischen Processen zwischen irdischen Körpern hergeleitet sind, auch für andere Himmelskörper als gültig betrachte, so erinnere ich daran, dass dieselbe Kraft, welche wir auf der Erde Schwere nennen, in den Welträumen als Gravitation wirkt und auch in den Bewegungen unermesslich ferner Doppelsterne als wirksam wiederzuerkennen und genau denselben Gesetzen unterworfen ist, wie zwischen Erde und Mond; dass Licht und Wärme irdischer Körper in keiner Beziehung wesentlich von dem der Sonne und der fernsten Fixsterne unterschieden sind; dass die

Digitized by Google

Meteorsteine, die aus den Welträumen zuweilen auf die Erde stürzen, ganz dieselben chemisch-einfachen Stoffe enthalten, wie die irdischen Körper. Wir werden deshalb nicht anzustehen brauchen, allgemeine Gesetze, welchen sämmtliche irdischen Naturprocesse unterworfen sind, auch für andere Weltkörper als gültig zu betrachten. Wir wollen uns also mit unserem Gesetze daran machen, den Haushalt des Weltalls in Bezug auf die Vorräthe wirkungsfähiger Kraft ein wenig zu überschauen.

Eine Menge von auffallenden Eigenthümlichkeiten in dem Bau unseres Planetensystems deuten darauf hin, dass es einst eine zusammenhängende Masse mit einer gemeinsamen Rotationsbewegung gewesen sei. Ohne eine solche Annahme würde sich nämlich durchaus nicht erklären lassen, warum alle Planeten in derselben Richtung um die Sonne laufen, warum sich alle auch in derselben Richtung um ihre Axe drehen, warum die Ebenen ihrer Bahnen und die ihrer Trabanten und Ringe alle nahehin zusammenfallen, warum ihre Bahnen alle wenig von Kreisen unterschieden sind, und manches andere. Aus diesen zurückgebliebenen Andeutungen eines früheren Zustandes haben sich die Astronomen eine Hypothese über die Entstehung unseres Planetensystems gebildet, welche, obgleich sie der Natur der Sache nach immer eine Hypothese bleiben wird, doch in ihren einzelnen Zügen durch Analogien so gut begründet ist, dass sie wohl unsere Aufmerksamkeit verdient, um so mehr, da diese Ansicht auf unserem heimischen Boden, innerhalb der Mauern dieser Stadt, zuerst entstand. Kant war es, der, sehr interessirt für die physische Beschreibung der Erde und des Weltgebäudes, sich dem mühsamen Studium der Werke Newton's unterzogen hatte, und als Zeugniss dafür, wie tief er in dessen Grundideen eingedrungen war, den genialen Gedanken fasste, dass dieselbe Anziehungskraft aller wägbaren Materie, welche jetzt den Lauf der Planeten unterhält, auch einst im Stande gewesen sein müsse, das Planetensystem aus locker im Weltraum verstreuter Materie zu bilden. Später fand unabhängig von ihm auch Laplace, der grosse Verfasser der Mécanique céleste, denselben Gedanken und bürgerte ihn bei den Astronomen ein.

Den Anfang unseres Planetensystems mit seiner Sonne haben wir uns danach als eine ungeheure nebelartige Masse vorzustellen, die den Theil des Weltraums ausfüllte, wo jetzt unser System sich befindet, bis weit über die Grenzen der Bahn des äussersten Planeten, des Neptun, hinaus. Noch jetzt erblicken wir in fernen Gegenden des Firmaments Nebelflecken, deren Licht, wie die Spec-

Digitized by Google

tralanalyse lehrt, das Licht glühender Gase ist, in deren Spectrum sich namentlich diejenigen hellen Linien zeigen, welche glühender Wasserstoff und glühender Stickstoff erzeugen. Und auch innerhalb der Räume unseres eigenen Sonnensystems zeigen die Kometen, die Schwärme der Sternschnuppen, das Zodiakallicht deutliche Spuren staubförmig verstreuter Substanz, die aber nach dem Gesetz der Schwere sich bewegt, und, zum Theil wenigstens, allmälig von den grösseren Körpern zurückgehalten und einverleibt wird. Letzteres geschieht in der That mit den Sternschnuppen und Meteormassen, welche in die Atmosphäre unserer Erde gerathen.

Berechnet man die Dichtigkeit der Masse unseres Planetensystems nach der gemachten Annahme für die Zeit, wo es ein Nebelball war, der bis an die Bahnen der äussersten Planeten reichte, so findet sich, dass viele Millionen Cubikmeilen erst einen Gran wägbarer Materie enthielten.

Die allgemeine Anziehungskraft aller Materie zu einander musste aber diese Massen antreiben, sich einander zu nähern und sich zu verdichten, so dass sich der Nebelball immer mehr und mehr verkleinerte, wobei nach mechanischen Gesetzen eine ursprünglich langsame Rotationsbewegung, deren Dasein man voraussetzen muss, allmälig immer schneller und schneller wurde. Durch die Schwungkraft, die in der Nähe des Aequators des Nebelballs am stärksten wirken musste, konnten von Zeit zu Zeit Massen losgerissen werden, welche dann getrennt von dem Ganzen ihre Bahn fortsetzten und sich zu einzelnen Planeten oder ähnlich dem grossen Balle zu Planeten mit Trabantensystemen und Ringen umformten, bis endlich die Hauptmasse zum Sonnenkörper sich verdichtete. Ueber den Ursprung von Wärme und Licht gab uns jene Ansicht noch keinen Aufschluss.

Als sich jenes Nebelchaos zuerst von anderen Fixsternmassen getrennt hatte, musste es nicht nur schon sämmtliche Materie enthalten, aus der das künftige Planetensystem zusammenzusetzen war, sondern unserem neuen Gesetze gemäss auch den ganzen Vorrath von Arbeitskraft, der einst darin seinen Reichthum von Wirkungen entfalten sollte. In der That war ihm eine ungeheuer grosse Mitgift in dieser Beziehung schon allein in Form der allgemeinen Anziehungskraft aller seiner Theile zu einander mitgegeben. Diese Kraft, welche auf der Erde sich als Schwerkraft äussert, wird in Bezug auf ihre Wirksamkeit in den Welträumen die himmlische Schwere oder Gravitation genannt. Wie die irdische Schwere, wenn sie ein Gewicht zur Erde niederzieht, eine Ar-

Digitized by Google

beit verrichtet und lebendige Kraft erzeugt, so thut es auch jene himmlische, wenn sie zwei Massentheilchen aus entfernten Gegenden des Weltraums zu einander führt.

Auch die chemischen Kräfte mussten schon vorhanden sein, bereit zu wirken; aber da diese Kräfte erst bei der innigsten Berührung der verschiedenartigen Massen in Wirksamkeit treten können, musste erst Verdichtung eingetreten sein, ehe ihr Spiel beginnen konnte.

Ob noch ein weiterer Kraftvorrath in Gestalt von Wärme im Uranfange vorhanden war, wissen wir nicht. Jedenfalls finden wir mit Hilfe des Gesetzes der Aequivalenz von Wärme und Arbeit in den mechanischen Kräften jenes Urzustandes eine so reiche Quelle von Wärme und Licht, dass wir gar keine Veranlassung haben, zu einer anderen ursprünglich bestehenden unsere Zuflucht zu nehmen. Wenn nämlich bei der Verdichtung der Massen ihre Theilchen auf einander stiessen und an einander hafteten, so wurde die lebendige Kraft ihrer Bewegung dadurch vernichtet und musste zu Wärme werden. Schon in älteren Theorien hat man dessen Rechnung getragen, dass das Zusammenstossen kosmischer Massen Wärme erzeugen musste, aber man war weit entfernt davon, auch nur ungefähr beurtheilen zu können, wie hoch diese Wärme zu veranschlagen sein möchte. Heut können wir mit Sicherheit bestimmte Zahlenwerthe angeben.

Schliessen wir uns also der Voraussetzung an, dass am Anfang die Dichtigkeit der nebelartig vertheilten Materie verschwindend klein gewesen sei gegen die jetzige Dichtigkeit der Sonne und der Planeten, so können wir berechnen, wieviel Arbeit bei der Verdichtung geleistet worden ist; wir können ferner berechnen, wieviel von dieser Arbeit noch jetzt in Form mechanischer Kraftgrössen besteht, als Anziehung der Planeten zur Sonne und als lebendige Kraft ihrer Bewegung, und finden daraus, wieviel in Wärme verwandelt worden ist.

Das Ergebniss dieser Rechnung [1]) ist, dass nur noch etwa der 443ste Theil der ursprünglichen mechanischen Kraft als solche besteht, dass das Uebrige, in Wärme verwandelt, hinreicht, um eine der Masse der Sonne und Planeten zusammengenommen gleiche Wassermasse um nicht weniger als 28 Millionen Grade des hundertheiligen Thermometers zu erhitzen. Zur Vergleichung führe ich an, dass die höchste Temperatur, welche wir im Sauerstoffge-

[1]) Siehe den zweiten Anhang am Schluss dieser Vorlesung.

Digitized by Google

bläse hervorbringen können, bei welcher selbst Platina schmilzt und verdampft, und nur sehr wenige bekannte Stoffe fest bleiben, auf etwa 2000 Grad geschätzt wird. Welche Wirkungen wir einer Temperatur von 28 Millionen Graden zuschreiben sollen, darüber können wir uns gar keine Idee machen. Wenn die Masse unseres ganzen Systems reine Kohle wäre und das Ganze verbrannt würde, so würde dadurch erst der 3500ste Theil jener Wärmemenge erzeugt werden. Soviel ist übrigens klar, dass eine so grosse Wärmeentwickelung selbst das grösste Hinderniss für eine schnelle Vereinigung der Massen gewesen sein muss, und dass wohl erst der grösste Theil davon durch Strahlung in den Weltraum hinein sich verlieren musste, ehe die Massen so dichte Körper bilden konnten, wie Planeten und Sonne gegenwärtig sind; und als sie sich bildeten, konnten ihre Bestandtheile nur in feurigem Flusse sein, was sich übrigens für die Erde noch besonders durch geologische Phänomene bestätigt, während auch bei allen anderen Körpern unseres Systems die abgeplattete Kugelform, welche die Gleichgewichtsform einer rotirenden flüssigen Masse ist, auf einen ursprünglich flüssigen Zustand hindeutet. Wenn ich eine ungeheure Wärmequantität unserem Systeme verloren gehen liess ohne Ersatz, so ist das kein Widerspruch gegen das Princip von der Erhaltung der Kraft. Sie ist wohl unserem Planetensysteme verloren gegangen, nicht aber dem Weltall. Sie ist hinausgegangen und geht noch täglich hinaus in die unendlichen Räume, und wir wissen nicht, ob das Mittel, welches die Licht- und Wärmeschwingungen fortleitet, irgendwo Grenzen hat, wo die Strahlen umkehren müssen, oder ob sie für immer ihre Reise in die Unendlichkeit hinein fortsetzen.

Uebrigens ist auch noch der gegenwärtig vorhandene Vorrath von mechanischer Kraft in unserem Planetensystem ungeheuren Wärmemengen äquivalent. Könnte unsere Erde durch einen Stoss plötzlich in ihrer Bewegung um die Sonne zum Stillstande gebracht werden, — was bei der bestehenden Einrichtung des Planetensystems übrigens nicht zu fürchten ist, — so würde durch diesen Stoss soviel Wärme erzeugt werden, als die Verbrennung von 14 Erden aus reiner Kohle zu erzeugen im Stande wäre. Ihre Masse würde, auch wenn wir die ungünstigste Annahme über ihre Wärmecapacität machten, sie nämlich der des Wassers gleichsetzten, doch um 112000 Grade erwärmt, also ganz geschmolzen und zum grössten Theile verdampft werden. Fiele die Erde dann aber, wie es der Fall sein würde, wenn sie zum Stillstande käme, in die

Digitized by Google

Sonne hinein, so würde die durch einen solchen Stoss entwickelte Wärme noch 400 Mal grösser sein.

Noch jetzt wiederholt sich von Zeit zu Zeit ein solcher Process in kleinem Maassstabe. Es kann kaum mehr einem Zweifel unterworfen sein, dass die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine Massen sind, welche dem Weltenraume angehören, und ehe sie in das Bereich unserer Erde kamen, nach Art der Planeten sich um die Sonne bewegten. Nur wenn sie in unsere Atmosphäre eindringen, werden sie uns sichtbar und stürzen zuweilen herab. Um zu erklären, dass sie dabei leuchtend werden, und dass die herabgestürzten Stücke im ersten Augenblicke sehr heiss sind, hat man schon längst an die Reibung gedacht, die sie in der Luft erleiden. Jetzt können wir berechnen, dass eine Geschwindigkeit von 3000 Fuss in der Secunde, wenn die Reibungswärme ganz an die feste Masse überginge, hinreichte, ein Stück Meteoreisen beim Falle auf 1000 Grad zu erhitzen, also in lebhaftes Glühen zu versetzen. Nun scheint aber die mittlere Geschwindigkeit der Sternschnuppen 30 bis 50 Mal grösser zu sein, nämlich 4 bis 6 Meilen in der Secunde zu betragen. Dafür verbleibt aber jedenfalls auch der beträchtlichste Theil der erzeugten Wärme der verdichteten Luftmasse, welche das Meteor vor sich hertreibt. Bekannt ist, dass helle Sternschnuppen gewöhnlich eine lichte Spur hinter sich lassen, wahrscheinlich glühend losgestossene Theile ihrer Oberfläche. Meteormassen, welche herabstürzen, zerspringen oft mit heftigen Explosionen, was als eine Wirkung der schnellen Erhitzung anzusehen sein möchte. Die frischgefallenen Stücke hat man meist heiss, aber nicht glühend gefunden, was sich wohl daraus erklärt, dass während der kurzen Zeit, in der das Meteor die Atmosphäre durcheilte, nur eine dünne Schicht der Oberfläche zum Glühen erhitzt, in das Innere der Masse aber noch wenig Wärme eingedrungen war. Deshalb kann das Glühen auch schnell wieder verschwinden.

So hat uns der Meteorsteinfall, als ein winziger Rest von Vorgängen, welche einst die bedeutendste Rolle in der Bildung der Himmelskörper gespielt zu haben scheinen, in die jetzige Zeit geführt, wo wir aus dem Dunkel hypothetischer Vorstellungen in die Helle des Wissens übergehen. Hypothetisch ist übrigens in dem bisher Vorgetragenen nur die Annahme von Kant und Laplace, dass die Massen unseres Systems anfangs nebelartig im Raume vertheilt waren.

Wegen der Seltenheit des Falls wollen wir doch noch bemerken, in wie enger Uebereinstimmung sich hier die Wissenschaft ein-

Digitized by Google

mal mit den alten Sagen der Menschheit und den Ahnungen dichterischer Phantasie befindet. Die Kosmogonien der alten Völker beginnen meist alle mit dem Chaos und der Finsterniss, wie denn auch Mephistopheles von sich selbst sagt:

Ich bin ein Theil des Theils, der anfangs Alles war,
Ein Theil der Finsterniss, die sich das Licht gebar,
Das stolze Licht, das nun der Mutter Nacht
Den alten Rang, den Raum, ihr streitig macht.

Auch die mosaische Sage weicht nicht sehr ab, namentlich wenn wir berücksichtigen, dass das, was Moses im Anfange Himmel nennt, von der Veste, dem blauen Himmelsgewölbe, unterschieden ist, also dem Weltraum entspricht, und dass die ungeformte Erde und die Wasser der Tiefe, welche erst später in die über der Veste und die unter der Veste geschieden werden, dem chaotischen Weltstoffe gleichen:

„Im Anfange schuf Gott Himmel und Erde, und die Erde war ohne Form und leer, und Finsterniss war auf der Tiefe, und der Geist Gottes schwebete über dem Wasser. Und Gott sprach: es werde Licht. Und es ward Licht.“

Aber wie in dem leuchtend gewordenen Nebelballe und auf der jungen feurig flüssigen Erde der modernen Kosmogonie war das Licht noch nicht in Sonne und Sterne, die Zeit noch nicht in Tag und Nacht geschieden, wie es erst nach der Erkaltung der Erde geschah.

„Da schied Gott das Licht von der Finsterniss, und nannte das Licht Tag und die Finsterniss Nacht. Da ward aus Abend und Morgen der erste Tag.“

Nun erst, und nachdem sich das Wasser im Meere gesammelt und die Erde trockengelegt hatte, konnten Pflanzen und Thiere entstehen, denn für sie

Taugt einzig Tag und Nacht.

Unsere Erde trägt noch die unverkennbaren Spuren ihres alten feurig flüssigen Zustandes an sich. Die granitene Grundlage ihrer Gebirge zeigt eine Structur, welche nur durch das krystallinische Erstarren geschmolzener Massen entstanden sein kann. Noch jetzt zeigen die Untersuchungen der Temperatur in Bergwerken und Bohrlöchern an, dass die Wärme in der Tiefe zunimmt, und wenn diese Zunahme gleichmässig ist, so findet sich schon in der Tiefe von 10 Meilen eine Hitze, bei der alle unsere Gebirgsarten schmelzen. Noch jetzt fördern unsere Vulcane von Zeit zu Zeit mächtige Massen geschmolzenen Gesteins aus dem Innern hervor, als

Digitized by Google

Zeugen von der Gluth, die dort herrscht. Aber schon ist die abgekühlte Kruste der Erde so dick geworden, dass, wie die Berechnung ihrer Wärmeleitungsfähigkeit ergiebt, die von innen hervordringende Wärme, verglichen mit der von der Sonne gesendeten, ausserordentlich klein ist, und die Temperatur der Oberfläche nur etwa um $^1/_{30}$ Grad vermehren kann, so dass der Rest des alten Kraftvorraths, welcher als Wärme im Innern des Erdkörpers aufgespeichert ist, fast nur noch in den vulcanischen Erscheinungen auf die Vorgänge der Oberfläche von Einfluss ist. Diese Vorgänge gewinnen ihre Triebkraft vielmehr fast ganz aus der Einwirkung anderer Himmelskörper, namentlich aus dem Lichte und der Wärme der Sonne, theilweise auch — nämlich Ebbe und Fluth — aus der Anziehungskraft der Sonne und des Mondes.

Am reichsten ist das Gebiet der Veränderungen, welche wir der Wärme und dem Lichte der Sonne verdanken. Die Sonne erwärmt unseren Luftkreis ungleichmässig, die wärmere verdünnte Luft steigt empor, während von den Seiten neue kühlere hinzufliesst; so entstehen die Winde. Am mächtigsten wirkt diese Ursache am Aequator ein, dessen wärmere Luft in den höheren Schichten der Atmosphäre fortdauernd nach den Polen zu abfliesst, während eben so anhaltend am Erdboden selbst die Passatwinde neue kühlere Luft nach dem Aequator zurückführen. Ohne Sonnenwärme würden alle Winde nothwendig aufhören. Aehnliche Strömungen entstehen aus dem gleichen Grunde im Meereswasser. Von ihrer Mächtigkeit zeugt namentlich der Einfluss, den sie auf das Klima mancher Gegenden haben. Durch sie wird das warme Wasser des Antillenmeeres zu den britischen Inseln herübergeführt und bringt diesen eine milde, gleichmässige Wärme und reichliche Feuchtigkeit, während durch eben solche das Treibeis des Nordpols bis in die Gegend von Neufundland geführt, rauhe Kälte verbreitet. Ferner wird durch die Sonnenwärme ein Theil des Wassers verdampft, steigt in die oberen Schichten der Atmosphäre, wird zu Nebeln verdichtet und bildet Wolken, oder fällt als Regen und Schnee wieder auf den Erdboden und seine Berge zurück, sammelt sich in Form von Quellen, Bächen und Flüssen, um endlich in das Meer zurückzukehren, nachdem es die Felsen zernagt, lockeres Erdreich weggeschwemmt, und so das Seinige an der geologischen Veränderung der Erde gethan, vielleicht auch noch unterwegs unsere Wassermühlen getrieben hat. Nehmen wir die Sonnenwärme weg, so kann auf der Erde nur eine einzige Bewegung des Wassers noch übrig bleiben, nämlich Ebbe und Fluth, welche

Digitized by Google

durch die Anziehung der Sonne und des Mondes hervorgerufen werden.

Wie ist es nun mit den Bewegungen und der Arbeit der organischen Wesen? Jenen Erbauern der Automaten des vorigen Jahrhunderts erschienen Menschen und Thiere als Uhrwerke, welche nie aufgezogen würden und sich ihre Triebkraft aus nichts schafften; sie wussten die aufgenommene Nahrung noch nicht in Verbindung zu setzen mit der Krafterzeugung. Seitdem wir aber an der Dampfmaschine diesen Ursprung von Arbeitskraft kennen gelernt haben, müssen wir fragen: Verhält es sich beim Menschen ähnlich? In der That ist die Fortdauer des Lebens an die fortdauernde Aufnahme von Nahrungsmitteln gebunden, diese sind verbrennliche Substanzen, welche denn auch wirklich, nachdem sie nach vollendeter Verdauung in die Blutmasse übergegangen sind, in den Lungen einer langsamen Verbrennung unterworfen werden und schliesslich fast ganz in dieselben Verbindungen mit dem Sauerstoffe der Luft übergehen, welche bei einer Verbrennung in offenem Feuer entstehen würden. Da die Quantität der durch Verbrennung erzeugten Wärme unabhängig ist von der Dauer der Verbrennung und den Zwischenstufen, in denen sie erfolgt, so können wir auch aus der Masse des verbrauchten Materials berechnen, wieviel Wärme oder dieser äquivalente Arbeit von einem Thierkörper dadurch erzeugt werden kann. Leider sind die Schwierigkeiten der Versuche noch sehr gross; innerhalb derjenigen Grenzen der Genauigkeit aber, welche dabei bis jetzt erreicht werden konnten, zeigen sie, dass die im Thierkörper wirklich erzeugte Wärme der durch die chemischen Processe zu liefernden entspricht. Der Thierkörper unterscheidet sich also durch die Art, wie er Wärme und Kraft gewinnt, nicht von der Dampfmaschine, wohl aber durch die Zwecke und die Weise, zu welchen und in welcher er die gewonnene Kraft weiter benutzt. Er ist ausserdem in der Wahl seines Brennmaterials beschränkter als die Dampfmaschine. Letztere würde mit Zucker, Stärkemehl und Butter eben so gut geheizt werden können, wie mit Steinkohlen und Holz; der Thierkörper muss sein Brennmaterial künstlich auflösen und durch seinen Organismus vertheilen, er muss ferner fortdauernd das leicht abnutzbare Material seiner Organe erneuern, und da er die dazu nöthigen Stoffe nicht selbst bilden kann, sie von aussen aufnehmen. Liebig hat zuerst auf diese wesentlich verschiedenen Bestimmungen der aufgenommenen Nahrung aufmerksam gemacht. Als Bildungsmaterial für den fortwährenden Neubau des Körpers können, wie es

Digitized by Google

scheint, ganz allein bestimmte eiweissartige Stoffe benutzt werden, welche in den Pflanzen vorkommen und die Hauptmasse des Thierkörpers bilden. Sie bilden nur einen kleinen Theil der täglichen Nahrungsmasse, die übrigen Nahrungsstoffe, Zucker, Stärkemehl, Fett, sind in der That nur Heizungsmaterial und können vielleicht nur deshalb nicht durch Steinkohlen ersetzt werden, weil diese sich nicht auflösen lassen.

Wenn sich die Processe des Thierkörpers in dieser Beziehung nicht von den unorganischen unterscheiden, so entsteht die Frage: wo kommen die Nahrungsmittel her, welche für ihn die Quelle der Kraft sind? Die Antwort ist: aus dem Pflanzenreiche. Denn nur Pflanzenstoffe oder das Fleisch pflanzenfressender Thiere können als Nahrungsmittel verbraucht werden. Die pflanzenfressenden Thiere bilden nur eine Zwischenstufe, welche den Fleischfressern, denen wir hier auch den Menschen beigesellen müssen, Nahrung aus solchen Pflanzenstoffen zubereitet, die jene nicht selbst unmittelbar als Nahrung gebrauchen können. Im Heu und Grase sind im Wesentlichen dieselben nährenden Substanzen enthalten, wie im Getreidemehl, nur in geringerer Quantität. Da aber die Verdauungsorgane des Menschen nicht im Stande sind, die geringe Menge des Brauchbaren aus dem grossen Ueberschusse des Unlöslichen auszuziehen, so unterwerfen wir diese Stoffe zunächst den mächtigen Verdauungsorganen des Rindes, lassen die Nahrung in dessen Körper aufspeichern, um sie schliesslich in angenehmerer und brauchbarerer Form für uns zu gewinnen. Wir werden also mit unserer Frage auf das Pflanzenreich zurückgewiesen. Wenn man nun die Einnahme und Ausgabe der Pflanzen untersucht, so findet man, dass ihre Haupteinnahme in den Verbrennungsproducten besteht, welche das Thier erzeugt. Sie nehmen den bei der Athmung verbrannten Kohlenstoff, die Kohlensäure, aus der Luft auf, den verbrannten Wasserstoff als Wasser, den Stickstoff ebenfalls in seiner einfachsten und engsten Verbindung als Ammoniak, und erzeugen aus diesen Stoffen mit Beihilfe weniger Bestandtheile, die sie aus dem Boden aufnehmen, von Neuem die zusammengesetzten verbrennlichen Substanzen, Eiweiss, Zucker, Oel, von denen das Thier lebt. Hier scheint also ein Cirkel zu sein, der eine ewige Kraftquelle ist. Die Pflanzen bereiten Brennmaterial und Nährstoffe, die Thiere nehmen diese auf, verbrennen sie langsam in ihren Lungen, von den Verbrennungsproducten leben wieder die Pflanzen. Diese sind eine ewige Quelle chemischer, jene mechanischer Kraftgrössen. Sollte die Verbindung beider organi-

Digitized by Google

schen Reiche das Perpetuum mobile herstellen? Wir dürfen nicht so schnell schliessen; weitere Untersuchung ergiebt, dass die Pflanzen verbrennliche Substanz nur unter dem Einflusse des Sonnenlichtes zu bereiten vermögen. Ein Theil der Sonnenstrahlen zeichnet sich durch merkwürdige Beziehungen zu den chemischen Kräften aus, er kann chemische Verbindungen schliessen und lösen; man nennt diese Strahlen, welche meist von blauer oder violetter Farbe sind, deshalb chemische Strahlen. Wir benutzen ihre Wirksamkeit namentlich bei der Anfertigung von Lichtbildern. Hier sind es Verbindungen des Silbers, die an den Stellen, wo sie von den Lichtstrahlen getroffen werden, sich zersetzen. Dieselben Sonnenstrahlen trennen in den grünen Pflanzenblättern die mächtige chemische Verwandtschaft des Kohlenstoffs der Kohlensäure zum Sauerstoffe, geben letzteren frei der Atmosphäre zurück, und häufen ersteren mit anderen Stoffen verbunden als Holzfaser, Stärkemehl, Oel oder Harz in der Pflanze an. Diese chemisch wirkenden Strahlen des Sonnenlichtes verschwinden vollständig, sobald sie grüne Pflanzentheile treffen; daher erscheinen denn auch die grünen Pflanzenblätter auf Photographien so gleichmässig schwarz, da das von ihnen kommende Licht, dem die chemischen Strahlen fehlen, auch auf Silberverbindungen nicht mehr wirkt. Ausser den blauen und violetten Strahlen spielen übrigens auch die gelben eine hervorragende Rolle bei dem Wachsthum der Pflanzen. Auch sie werden durch Pflanzenblätter verhältnissmässig stark absorbirt.

Es verschwindet also wirkungsfähige Kraft des Sonnenlichtes, während verbrennliche Stoffe in den Pflanzen erzeugt und aufgehäuft werden, und wir können als sehr wahrscheinlich vermuthen, dass das erstere der Grund des zweiten ist. Allerdings, muss ich bemerken, besitzen wir noch keine Versuche, aus denen sich bestimmen liesse, ob die lebendige Kraft der verschwundenen Sonnenstrahlen auch dem während derselben Zeit angehäuften chemischen Kraftvorrathe entspricht, und so lange diese fehlen, können wir die angegebene Beziehung noch nicht als Gewissheit betrachten. Wenn sich diese Ansicht bestätigt, so ergiebt sich daraus für uns das schmeichelhafte Resultat, dass alle Kraft, vermöge deren unser Körper lebt und sich bewegt, ihren Ursprung direct aus dem reinsten Sonnenlichte herzieht, und wir alle also an Adel der Abstammung dem grossen Monarchen des chinesischen Reiches, der sich sonst allein Sohn der Sonne nennt, nicht nachstehen. Aber freilich theilen diesen ätherischen Ursprung auch alle un-

Digitized by Google

sere niederen Mitgeschöpfe, die Kröte und der Blutegel, die ganze Pflanzenwelt und selbst das Brennmaterial, urweltliches wie jüngst gewachsenes, was wir unseren Oefen und Maschinen zuführen.

So sehen Sie denn, dass der ungeheure Reichthum von immer neu wechselnden meteorologischen, klimatischen, geologischen und organischen Vorgängen unserer Erde fast allein durch die leuchtenden und wärmenden Strahlen der Sonne im Gange erhalten wird, und Sie haben daran gleich ein auffallendes Beispiel, wie proteusartig die Wirkungen einer Ursache in der Natur unter abgeänderten äusseren Bedingungen wechseln können. Ausserdem erleidet die Erde noch eine andere Art der Einwirkung von ihrem Centralgestirne, so wie von ihrem Trabanten, dem Monde, welche sich in den merkwürdigen Phänomenen der Ebbe und Fluth des Meeres zu erkennen giebt.

Jedes dieser Gestirne erregt durch seine Anziehung auf das Meereswasser zwei riesige Wellen, welche in derselben Richtung um die Erde laufen, wie es scheinbar die Gestirne thun; die beiden Wellen des Mondes sind wegen seiner grösseren Nähe etwa $3^1/_2$ Mal so gross, als die von der Sonne erregten. Die eine dieser Wellen hat ihren Höhepunkt auf dem Viertel der Erdoberfläche, welches dem Monde zugekehrt ist, die andere auf dem gerade entgegengesetzten. Diese beiden Viertel haben dann Fluth, die dazwischenliegenden Ebbe. Obgleich im offenen Meere die Höhe der Fluth nur etwa drei Fuss beträgt, und sie sich nur in einzelnen engen Canälen, wo sich das bewegte Wasser zusammendrängt, bis gegen 30 Fuss steigert, so geht doch die Mächtigkeit des Phänomens aus der Berechnung von Bessel hervor, wonach ein vom Meere bedecktes Viertel der Erdoberfläche während seiner Fluthzeit etwa 200 Cubikmeilen Wasser mehr besitzt, als während der Ebbe, und dass also eine solche Wassermasse während $6^1/_4$ Stunden von einem Erdviertel zum andern fliessen muss.

Das Phänomen der Ebbe und Fluth steht, wie schon Mayer erkannt hat, verbunden mit dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft, in einer merkwürdigen Beziehung zu der Frage über die Beständigkeit unseres Planetensystems. Die von Newton gefundene mechanische Theorie der Planetenbewegungen lehrt, dass wenn ein fester Körper im absolut leeren Raume, von der Sonne angezogen, sich in der Weise der Planeten um diese bewegt, seine Bewegung unverändert weiterbestehen wird bis in alle Ewigkeit.

Nun haben wir in Wirklichkeit nicht einen, sondern viele Planeten, welche sich um die Sonne bewegen und durch ihre gegen-

Digitized by Google

seitige Anziehung kleine Veränderungen und Störungen in ihren Bahnen hervorbringen. Indessen hat Laplace in seinem grossen Werke, der Mécanique céleste, nachgewiesen, dass in unserem Planetensysteme alle diese Störungen periodisch zu- und abnehmen, und nie gewisse Grenzen überschreiten können, so dass also auch dadurch für alle Ewigkeit das Bestehen des Planetensystems nicht gefährdet werde.

Aber ich habe schon zwei Voraussetzungen genannt, welche gemacht werden mussten, erstens, dass der Weltraum absolut leer sei, zweitens, dass die Sonne und Planeten feste Körper seien. Das erstere ist wenigstens in so fern der Fall, als man, so weit die astronomischen Beobachtungen zurückreichen, noch keine solche Veränderung in der Bewegung der Planeten hat entdecken können, wie sie ein widerstehendes Mittel hervorbringen würde. Aber an einem kleineren Himmelskörper von geringer Masse, dem Enke'schen Kometen, finden sich Veränderungen solcher Art; er beschreibt immer enger werdende Ellipsen um die Sonne. Wenn diese Art der Bewegung, die allerdings der in einem widerstehenden Mittel entspricht, wirklich von einem solchen herrührt, so wird eine Zeit kommen, wo er in die Sonne stürzt; und auch den Planeten droht endlich ein solcher Untergang, wenn auch erst nach Zeiträumen, von deren Länge wir uns keinen Begriff machen können. Wenn uns aber auch die Existenz eines widerstehenden Mittels zweifelhaft erscheinen könnte, so ist es nicht zweifelhaft, dass die Planeten nicht ganz aus festen und unbeweglich verbundenen Massen bestehen. Zeichen von vorhandenen Atmosphären sind an der Sonne, der Venus, dem Mars, Jupiter und Saturn gefunden, Zeichen von Wasser und Eis auf dem Mars, und unsere Erde hat unzweifelhaft einen flüssigen Theil an ihrer Oberfläche, und vielleicht einen noch grösseren in ihrem Innern. Die Bewegungen der Ebbe und Fluth in den Meeren, wie in den Atmosphären, geschehen aber mit Reibung; jede Reibung vernichtet lebendige Kraft, der Verlust kann in diesem Falle nur die lebendige Kraft der Planetenbewegungen treffen. Wir kommen dadurch zu dem unvermeidlichen Schlusse, dass jede Ebbe und Fluth fortdauernd und, wenn auch unendlich langsam, doch sicher, den Vorrath mechanischer Kraft des Systems verringert, wobei sich die Axendrehung der betreffenden Planeten verlangsamen muss. In der That ist eine solche Verzögerung für die Erde durch die neueren sorgfältigen Untersuchungen der Mondbewegung von Hansen, Adams und Delaunay nachgewiesen worden. Nach ersterem

Digitized by Google

hat seit Hipparch die Dauer jedes Sterntages um $^1/_{81}$ Secunde, die Dauer eines Jahrhunderts um eine halbe Viertelstunde zugenommen; nach Adams und W. Thomson wäre die Zunahme fast doppelt so gross. Eine Uhr, die zu Anfang eines Jahrhunderts richtig ginge, würde der Erde zu Ende des Jahrhunderts 22 Secunden vorausgeeilt sein. Laplace hatte die Existenz einer solchen Verzögerung der Umdrehung der Erde geleugnet; um ihren Betrag zu finden, musste die Theorie der Mondbewegung erst viel genauer entwickelt werden, als das zu seiner Zeit möglich war. Der endliche Erfolg dieser Verzögerung des Erdumlaufes wird sein, aber erst nach Millionen von Jahren, wenn inzwischen das Meer nicht eingefroren ist, dass sich eine Seite der Erde constant der Sonne zukehren und ewigen Tag, die entgegengesetzte dagegen ewige Nacht haben würde. Eine solche Stellung finden wir an unserem Monde in Bezug auf die Erde, und auch an anderen Trabanten in Bezug auf ihre Planeten; sie ist vielleicht die Wirkung der gewaltigen Ebbe und Fluth, denen diese Körper einst zur Zeit ihres feurig flüssigen Zustandes unterworfen gewesen sind.

Ich würde diese Schlüsse, welche uns wieder in die fernste Ferne zukünftiger Zeit hinausführen, nicht beigebracht haben, wenn sie nicht eben unvermeidlich wären. Physikalisch-mechanische Gesetze sind wie Teleskope unseres geistigen Auges, welche in die fernste Nacht der Vergangenheit und Zukunft eindringen.

Eine andere wesentliche Frage für die Zukunft unseres Planetensystems ist die über die künftige Temperatur und Erleuchtung. Da die innere Wärme des Erdballs wenig Einfluss auf die Temperatur der Erdoberfläche hat, so kommt es hier wesentlich nur auf die von der Sonne ausströmende Wärme an. Es kann gemessen werden, wieviel Sonnenwärme hier auf der Erde in einer gegebenen Zeit eine gegebene Fläche trifft, und daraus kann berechnet werden, wieviel in einer gewissen Zeit von der Sonne ausgeht. Dergleichen Messungen sind von dem französischen Physiker Pouillet ausgeführt worden und haben ergeben, dass die Sonne soviel Wärme abgiebt, dass an ihrer ganzen Oberfläche stündlich eine Schicht dichtesten Kohlenstoffs von etwa 10 Fuss Mächtigkeit abbrennen müsste, um sie durch Verbrennung zu erzeugen, in einem Jahre also etwa eine Schicht von $3^1/_2$ Meilen. Würde diese Wärme aber dem ganzen Sonnenkörper gleichmässig entzogen, so würde seine Temperatur doch jährlich nur um $1^1/_4$ Grad erniedrigt werden, wenn wir seine Wärmecapacität der des Wassers gleichsetzen. Diese Angaben können uns wohl die Grösse

Digitized by Google

der Ausgabe im Verhältniss zur Oberfläche und dem Inhalte der Sonne anschaulich machen; sie können uns aber keinen Aufschluss darüber geben, ob die Sonne nur als glühender Körper die Wärme ausstrahlt, die seit ihrer Entstehung in ihr angehäuft ist, oder ob fortdauernd eine Neuerzeugung vermöge chemischer Processe an ihrer Oberfläche stattfindet. Jedenfalls lehrt uns unser Gesetz von der Erhaltung der Kraft, dass kein Process, der den auf der Erde bekannten analog ist, in der Sonne die Wärme- und Lichtausstrahlung für ewige Zeiten unerschöpflich unterhalten kann. Aber dasselbe Gesetz lehrt uns auch, dass die vorhandenen Kraftvorräthe, welche als Wärme schon existiren, oder einst zu Wärme werden können, noch für unermesslich lange Zeiten ausreichen. Ueber die Vorräthe chemischer Kraft in der Sonne können wir nichts muthmaassen, die in ihr aufgehäuften Wärmevorräthe nur durch sehr unsichere Schätzungen bestimmen. Wenn wir aber der sehr wahrscheinlichen Ansicht folgen, dass die von den Astronomen gefundene, für ein Gestirn von so grosser Masse auffallend geringe Dichtigkeit durch die hohe Temperatur bedingt sei, und mit der Zeit grösser werden könne, so lässt sich berechnen, dass, wenn der Durchmesser der Sonne sich nur um den zehntausendsten Theil seiner jetzigen Grösse verringerte, dadurch hinreichend viel Wärme erzeugt würde, um die ganze Ausgabe für 2100 Jahre zu decken. Eine so geringe Veränderung des Durchmessers würde übrigens durch die feinsten astronomischen Beobachtungen nur mit Mühe erkannt werden können.

In der That hat sich seit der Zeit, von der wir historische Nachrichten haben, also seit etwa 4000 Jahren, die Temperatur der Erdoberfläche nicht merklich verringert. Wir haben aus so alter Zeit allerdings keine Thermometerbeobachtungen; aber wir haben Angaben über die Verbreitung einiger Culturpflanzen, des Weinstocks, Oelbaums, welche gegen Aenderungen der mittleren Jahrestemperatur sehr empfindlich sind, und finden, dass diese Pflanzen noch jetzt genau dieselbe Verbreitungsgrenze haben, wie zu den Zeiten des Abraham und Homer, woraus denn rückwärts auf die Beständigkeit des Klima zu schliessen ist.

Als Gegengrund gegen diese Behauptung hatte man sich auf den Umstand berufen, dass ehemals die deutschen Ritter hier in Preussen Wein gebaut, gekeltert und getrunken hätten, was jetzt nicht mehr möglich sei. Man wollte daraus schliessen, dass die Wärme unseres Klima seit jener Zeit abgenommen habe. Dagegen hat schon Dove Berichte alter Chronisten citirt, wonach in eini-

Digitized by Google

gen besonders heissen Jahren das Erzeugniss der preussischen Reben etwas weniger von seiner gewöhnlichen Säure gehabt habe. Die Thatsache spricht also nicht für die Wärme des Klima, sondern nur für die Kehlen der deutschen Herren.

Aber wenn auch die Kraftvorräthe unseres Planetensystems so ungeheuer gross sind, dass sie durch die fortdauernden Ausgaben innerhalb der Dauer unserer Menschengeschichte nicht merklich verringert werden konnten, wenn sich auch die Länge der Zeiträume noch gar nicht ermessen lässt, welche vorbeigehen müssen, ehe merkliche Veränderungen in dem Zustande des Planetensystems eintreten können: so weisen doch unerbittliche mechanische Gesetze darauf hin, dass diese Kraftvorräthe, welche nur Verlust, keinen Gewinn erleiden können, endlich erschöpft werden müssen. Sollen wir darüber erschrecken? Die Menschen pflegen die Grösse und Weisheit des Weltalls danach abzumessen, wieviel Dauer und Vortheil es ihrem eigenen Geschlechte verspricht; aber schon die vergangene Geschichte des Erdballs zeigt, einen wie winzigen Augenblick in seiner Dauer die Existenz des Menschengeschlechtes ausgemacht hat. Ein wendisches Thongefäss, ein römisches Schwert, was wir im Boden finden, erregt in uns die Vorstellung grauen Alterthums; was uns die Museen Europas von den Ueberbleibseln Aegyptens und Assyriens zeigen, sehen wir mit schweigendem Staunen an, und verzweifeln uns zu der Vorstellung einer so weit zurückliegenden Zeitperiode aufzuschwingen; und doch musste das Menschengeschlecht offenbar schon Jahrtausende bestanden und sich vermehrt haben, ehe die Pyramiden und Ninive gebaut werden konnten. Wir schätzen die Menschengeschichte auf 6000 Jahre; aber so unermesslich uns dieser Zeitraum auch erscheinen mag, wo bleibt sie gegen die Zeiträume, während welcher die Erde schon eine lange Reihenfolge jetzt ausgestorbener, einst üppiger und reicher Thier- und Pflanzengeschlechter, aber keine Menschen trug, während welcher in unserer Gegend der Bernsteinbaum grünte und sein kostbares Harz in die Erde und das Meer träufelte, wo in Sibirien, Europa und dem Norden Amerikas tropische Palmenhaine wuchsen, Rieseneidechsen und später Elephanten hausten, deren mächtige Reste wir noch im Erdboden begraben finden? Verschiedene Geologen haben nach verschiedenen Anhaltspunkten die Dauer jener Schöpfungsperiode zu schätzen gesucht, und schwanken zwischen 1 und 9 Millionen von Jahren. Und wiederum war die Zeit, wo die Erde organische Wesen erzeugte, nur klein gegen die, wo sie ein Ball geschmolzenen Gesteins gewesen

Digitized by Google

ist. Für die Dauer ihrer Abkühlung von 2000 bis 200 Grad ergeben sich nach Versuchen von Bischof über die Erkaltung geschmolzenen Basalts etwa 350 Millionen Jahre. Und über die Zeit, wo sich der Ball des Urnebels zum Planetensystem verdichtete, müssen unsere kühnsten Vermuthungen schweigen. Die bisherige Menschengeschichte war also nur eine kurze Welle in dem Ocean der Zeiten; für viel längere Reihen von Jahrtausenden, als unser Geschlecht bisher erlebt hat, scheint der jetzige seinem Bestehen günstige Zustand der unorganischen Natur gesichert zu sein, so dass wir für uns und lange, lange Reihen von Generationen nach uns nichts zu fürchten haben. Aber noch arbeiten dieselben Kräfte der Luft, des Wassers und des vulcanischen Innern an der Erdrinde weiter, welche frühere geologische Revolutionen verursacht und eine Reihe von Lebensformen nach der anderen begraben haben. Sie werden wohl eher den jüngsten Tag des Menschengeschlechtes herbeiführen, als jene weit entlegenen kosmischen Veränderungen, die wir früher besprachen, und uns zwingen, vielleicht neuen vollkommeneren Lebensformen Platz zu machen, wie uns und unseren jetzt lebenden Mitgeschöpfen einst die Riesenеidechsen und Mammuths Platz gemacht haben.

So hat uns der Faden, den diejenigen, welche dem Traume des Perpetuum mobile nachfolgten, in Dunkelheit angesponnen haben, zu einem allgemeinen Grundgesetze der Natur geführt, welches Lichtstrahlen in die fernen Nächte des Anfangs und des Endes der Geschichte des Weltalls aussendet. Auch unserem eigenen Geschlechte will es wohl ein langes, aber kein ewiges Bestehen zulassen; es droht ihm mit einem Tage des Gerichtes, dessen Eintrittszeit es glücklicher Weise noch verhüllt. Wie der Einzelne den Gedanken seines Todes ertragen muss, muss es auch das Geschlecht; aber es hat vor anderen untergegangenen Lebensformen höhere sittliche Aufgaben voraus, deren Träger es ist und mit deren Vollendung es seine Bestimmung erfüllt.

Digitized by Google

Anhang.

1) Robert Mayer's Priorität.

(Zu S. 38. Zugefügt 1883.)

In der oben vorliegenden Stelle habe ich R. Mayer als den Ersten genannt, der das Gesetz von der Erhaltung der Kraft in seiner Allgemeinheit richtig aufgefasst habe. So weit ich finden kann, ist dies der Zeit nach überhaupt die erste Hervorhebung seines Verdienstes gewesen, durch die ein grösserer Kreis des wissenschaftlichen Publicums auf dasselbe aufmerksam gemacht werden konnte. Auch in dem Buche von Herrn E. Dühring[1]) finde ich keine frühere anerkennende Erwähnung desselben citirt, die angeführte freilich auch nicht. Bei einer früheren Gelegenheit habe ich die Priorität Mayer's gegen die englischen Freunde Joule's zu vertheidigen gehabt, welche geneigt waren jede Berechtigung Mayer's zu leugnen. Ein zu diesem Zweck an Professor P. G. Tait von mir geschriebener Brief ist in der Einleitung zu dessen Buch: „Sketch of Thermodynamics“, Edinburgh 1868, sowie in der kürzlich erschienenen Sammlung meiner wissenschaftlichen Abhandlungen, Bd. I, S. 71 bis 73 abgedruckt.

In neuerer Zeit sind Gegner der entgegengesetzten Richtung aufgestanden, die, soweit ihren Angriffen wissenschaftliche Motive zu Grunde liegen, die fast schon erloschene Hoffnung, reelle Kenntnisse auf speculativem Wege gewinnen zu können, neu zu beleben glaubten, indem sie das Gesetz von der Erhaltung der Kraft als eine Erkenntniss a priori, und R. Mayer als einen Heros des reinen Denkens feiern. Die Darstellungsweise, welche dieser in den Einleitungen seiner ersten beiden Aufsätze gewählt hat, erleichtert allerdings eine solche Missdeutung seiner Leistungen.

Der alten, namentlich in metaphysischen Streitigkeiten seit Jahrtausenden bewährten Regel entsprechend, wonach die Erbitterung bei wissenschaftlichen Streitigkeiten um so grösser zu sein pflegt, je schlechter die Gründe sind, wurden diese Angriffe nicht gerade in höflichen Formen ausgeführt. Die übrigen Naturforscher, welche sich gleichzeitig oder unmittelbar nach R. Mayer

[1]) Robert Mayer, der Galilei des neunzehnten Jahrhunderts, Chemnitz 1880.

Digitized by Google

mit dem gleichen Gegenstande beschäftigt und eingestandenermaassen dabei die inductiven Methoden aller Erfahrungswissenschaft befolgt hatten, wurden zu elenden Plagiatoren herabgesetzt, als ob sie sich Mayer's Entdeckung anzueignen und ihn selbst todtzuschweigen gesucht hätten. Daneben wurden sie verspottet, weil sie sich noch bemüht hatten Experimente anzustellen über Fragen, die durch das Schauen des Genius, den sie nicht verstanden, schon vorher entschieden waren. Ich selbst habe die Ehre gehabt, als einer der schlimmsten Uebelthäter dargestellt zu werden. Ich verdanke dies, wie ich voraussetze, dem Umstande, dass ich durch meine Untersuchungen über Sinneswahrnehmungen mehr als andere meiner Fachgenossen mit erkenntnisstheoretischen Fragen in Berührung gekommen bin, und dabei allerdings nach besten Kräften mich bemüht habe, was ich noch von Nebeln eines falschen scholastischen Rationalismus vorfand zu zerstreuen. Dass ich mich dadurch bei den stillen und offenen Anhängern metaphysischer Speculation nicht beliebt gemacht habe, wusste ich längst vor diesen Streitigkeiten über R. Mayer, und hatte auch längst schon eingesehen, dass es nicht anders sein könne.

Eine unbillig grosse Rolle spielte dabei mir gegenüber der Umstand, dass ich bei Abfassung meiner kleinen Schrift: „Ueber die Erhaltung der Kraft“ (Berlin 1847), Mayer's damals erschienenen zwei Abhandlungen noch nicht kannte. Der Leser wird im Folgenden vielleicht erkennen, warum R. Mayer's erste Schrift von 1842 nicht gerade viel Wahrscheinlichkeit raschen Bekanntwerdens für sich hatte. Alle anderen Autoren über den Gegenstand, so weit sie mir bekannt waren, hatte ich genannt. Unter diesen war Joule, dem gegenüber ich selbst für die Idee des Wärmeäquivalents auch nicht den geringsten Schein eines Prioritätsrechtes hätte in Anspruch nehmen können, was ich natürlich auch nie mit einem Worte oder einer Andeutung gethan habe. In den Augen meiner Gegner half es mir dann auch nichts, dass ich später, nachdem ich R. Mayer's Schriften kennen gelernt hatte, und lange, ehe meine Gegner von ihm etwas wussten, über die Entdeckung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft niemals gesprochen habe, ohne ihn in erster Linie zu nennen, wie man in den hierauf folgenden Vorträgen von 1862 und 1869 wieder finden wird, und dass ich wahrscheinlich der Erste in Deutschland gewesen bin, der sich bemüht hat die Aufmerksamkeit des wissenschaftlichen Publicums auf ihn hinzu-

Digitized by Google

lenken. Herr Dühring hat es nie nöthig gefunden, diese Thatsache zu erwähnen, obgleich sie in den veröffentlichten Acten des Unterrichtsministeriums über die gegen ihn geführte Disciplinaruntersuchung constatirt ist, deren Kenntniss bei ihm vorauszusetzen man doch wohl berechtigt ist.

Der letztgenannte Autor vertrat bei diesen Erörterungen die materialistische Richtung der Speculation, die spiritualistische oder spiritistische dagegen der kürzlich verstorbene J. C. F. Zöllner. Es war das alte Verhältniss, welches Sokrates schon so humoristisch von den Sophisten seiner Zeit geschildert hat. Beide Herren widersprachen sich diametral in allen ihren übrigen Ansichten, nur in den Angriffen gegen die Universitäten, bei denen beide nicht den von ihnen erwarteten Grad der Bewunderung gefunden hatten, und gegen die Vertreter der strengen wissenschaftlichen Methodik, namentlich gegen Mathematiker und Physiker, waren sie einig, ebenso wie in dem ästhetischen und ethischen Charakter ihrer Polemik. Die Maasslosigkeiten der letzteren haben, wie von Anfang an vorauszusehen war, den gebildeteren Theil der Leser schnell orientirt, so dass ich mir das wenig erfreuliche Geschäft auf die nicht wissenschaftlichen Seiten des Streites zurückzukommen ersparen kann.

Was aber von wissenschaftlichen Motiven in jenen Angriffen steckt, ist vielleicht bisher noch nicht deutlich genug herausgehoben worden. Es ist der alte Gegensatz zwischen Speculation und Empirie, zwischen der Werthschätzung des deductiven und des inductiven Wissens, der hier zu einer sehr verschiedenen Werthschätzung dessen, was R. Mayer geleistet hat, führt. Ich kann darüber nicht schweigen, da ich selbst ihn oft rühmend erwähnt habe ohne eine Beschränkung hinzuzufügen; letzteres wäre mir, so lange der leidende Mann lebte, unpassend erschienen. Da nun aber sein Namen und seine Geschichte gebraucht wird, um wissenschaftliche Principien zu empfehlen, die ich für radical falsch halte, und die leider für die gebildeten Classen Deutschlands ihre verführende Kraft noch immer nicht ganz verloren haben, so muss ich diese Rücksicht bei Seite setzen.

Wenn ich Herrn E. Dühring hier unter die Metaphysiker rechne, so wird er selbst vielleicht gegen diese Bezeichnung protestiren. Denn er pflegt über alle Philosophen, die vor ihm gelebt haben, höchst verächtlich zu sprechen, und seine eigene „Wirklichkeitsphilosophie“ und sein „widerspruchloses (?) Denken“ für weit verschieden zu erklären von dem, was jene geleistet

Digitized by Google

haben. Wir brauchen uns in eine Untersuchung dessen, was er an Beispielen von falscher Werthschätzung deductiver Methode in seinen übrigen Büchern geliefert hat, hier nicht einzulassen. Sein Standpunkt in dem vorliegenden Streite ist charakteristisch genug. Die Frage über die Allgemeingültigkeit des grossen Naturgesetzes wird durch Mayer's erste Schrift für abgethan erklärt, die von Joule angestellten Versuche über die Constanz des Wärmeäquivalents werden als unnöthig verspottet, wer nicht nach dem Durchlesen jener Schrift von der Wahrheit ihres Inhalts überzeugt war, wird als Dummkopf oder Bösewicht behandelt. Das Alles hat nur Sinn, wenn das Gesetz der Erhaltung der Kraft eine Erkenntniss a priori war, welche, nachdem sie gefunden, jedem, der den Sinn des Satzes verstand, unmittelbar einleuchtend sein musste.

Uebrigens ist auch seine sehr fleissig gearbeitete Geschichte der Mechanik ein Versuch, die Principien dieser Wissenschaft als deductiv gefunden darzustellen. Zu dem Ende preist Herr Dühring überall die ersten unreifen und unklaren Versuche, die neu geahnten Sätze auszusprechen, während die vollendeten Formulirungen derselben allgemeinen Gesetze in durchsichtig inductiver Form, wie sie z. B. bei Newton auftreten, in jeder Weise herabgezogen und bemäkelt werden.

Bei der Auffindung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft und seiner vollen Allgemeingültigkeit handelt es sich für Jemanden, der die mathematisch-mechanische Litteratur des vorigen Jahrhunderts einigermaassen kannte, keineswegs um eine durchaus neue Induction, sondern nur um die letzte Präcisirung und vollständige Verallgemeinerung einer schon längst herangewachsenen inductiven Ueberzeugung, die sich schon mannigfach ausgesprochen hatte. Nachdem Leibnitz den Begriff der lebendigen Kraft, d. h. des Arbeitsäquivalents der Bewegung bewegter Massen aufgestellt hatte, spielte das sogenannte Gesetz „von der Erhaltung der lebendigen Kraft“ eine wichtige Rolle in allen mechanischen Untersuchungen jener Zeit. Vorzugsweise war es Daniel Bernoulli, der um die Mitte des vorigen Jahrhunderts dieses Gesetz in den verschiedenartigsten Anwendungen durchzuführen bemüht war. Aber man wusste, dass dasselbe nur gültig sei für Bewegungskräfte, die von der Zeit und Geschwindigkeit unabhängig sind und dabei eine besondere Art räumlicher Vertheilung haben, Kräfte, die wir jetzt kurz zusammenfassend „conservativ“ nennen. Allerdings wagten die grossen Mathe-

Digitized by Google

matiker des vorigen Jahrhunderts, die streng und vorsichtig in ihren Verallgemeinerungen vorgingen, ihre Vermuthung, dass alle elementaren Kräfte conservativ seien, noch nicht als wissenschaftlichen Satz auszusprechen. Abgesehen davon, dass Männer, die an ernste wissenschaftliche Arbeit gewöhnt sind, nicht alle ihre Vermuthungen und gelegentlichen Einfälle in die Welt hinauszuplaudern pflegen, um damit vor den Unverständigen zu glänzen, so hatten sie noch die besondere Aufgabe vor sich, die Menschheit von dem falschen Rationalismus der Scholastik zur strengen Schätzung der Thatsachen zu erziehen, und mussten deshalb doppelt vorsichtig sein. Dass sie aber sehr fest an die Allgemeingültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der lebendigen Kraft geglaubt haben, dafür liegt eine ganz entscheidende Thatsache vor, nämlich der Beschluss der Académie des Sciences zu Paris, gefasst im Jahre 1775 [1]), dass fortan von der Akademie kein angebliches Perpetuum mobile mehr in Berücksichtigung genommen werden solle, ebenso wenig, wie die angeblichen Lösungen der Quadratur des Cirkels und der Trisection des Winkels. In der Begründung dieses Beschlusses wird kurzweg und ganz bestimmt gesagt: „Le mouvement perpétuel est absolument impossible.“ Der wissenschaftliche Beweis der Unmöglichkeit der Lösung der genannten drei Probleme war zu jener Zeit noch nicht zu geben. Für die Quadratur des Cirkels ist er erst im letzten Jahre Herrn Lindemann gelungen. Wenn ein strenger Beweis der Unmöglichkeit der Lösung bekannt gewesen wäre, hätte sich die Akademie nicht durch einen solchen Beschluss gegen nutzlose Vergeudung ihrer Zeit zu wahren gebraucht. Aber in Entscheidungen für das praktische Handeln muss man oft Motiven folgen, die nur einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich haben, und eine solche durch viele vorausgegangene vergebliche Versuche inductiv gewonnene Ueberzeugung spricht sich offenbar in jenem Beschlusse der Akademie aus, genügend fest für einen solchen, wenn sie auch noch nicht als wissenschaftliches Theorem erwiesen werden konnte.

Also die eine Seite des Problems, das „nil fieri ex nihilo“, wie es R. Mayer bezeichnet, war für Arbeitswerthe hier schon als gemeinsame Ueberzeugung einer Versammlung der hervorragendsten Sachverständigen jener Zeit ausgesprochen. Die andere Seite, das „nil fieri ad nihilum“, die Unzerstörbarkeit der

---

[1]) Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année 1775, p. 61 et 65.

Digitized by Google

Arbeitswerthe wurde noch nicht direct ausgesprochen. Sie lag aber schon sehr nahe. Denn soweit conservative Naturkräfte wirken und das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kräfte gilt, ist Zerstörung von Arbeitsäquivalenten ebenso wenig möglich, als Neuerzeugung. Eben deshalb ist in dem Namen jenes Princips das Wort „conservatio“, „Erhaltung“, gebraucht.

Diese Seite des Problems konnte überhaupt erst aufgehellt werden, nachdem eine bessere Einsicht in die eigentliche Natur der Wärme gewonnen war, und der Gang der experimentellen Forschung war damals der Erkenntniss, dass die Wärme eine Form der Bewegung und nicht ein Stoff sei, eher ungünstig als günstig. Die Entdeckung des Sauerstoffs und die daran sich knüpfende neue Verbrennungstheorie führten zunächst zur umfassenden Durchführung der Calorimetrie. Die durch chemische Processe zu entwickelnde Wärme, die bei den Aenderungen der Aggregatzustände verschwindende und frei werdende Wärme, die Wärmecapacität der verschiedenen Substanzen, Alles dies wurde eifrig studirt, eine Menge mühsamer Untersuchungen begründeten hier ein neues wichtiges Gebiet der Physik. Bei allen diesen Vorgängen aber verhielt sich die Wärme gerade so, wie ein unzerstörbares Quantum einer Substanz, und sie liessen sich viel bequemer und einfacher durch die Annahme eines imponderablen Wärmestoffs erklären, als durch eine Bewegungshypothese, deren klare Durchführung und Auffassung ein gewisses Maass mathematisch-mechanischer Bildung verlangte. Aber diese war mit experimenteller Kenntniss der Thatsachen in älterer Zeit seltener vereinigt, als dies jetzt der Fall ist. Ja es gab Physiker, welche principiell verlangten, dass experimentelle und mathematisch-theoretische Arbeit ganz getrennt bleiben müssten. Auch die neu gefundene Arbeitserzeugung durch Wärme mittels der Dampfmaschine schien sich anfangs noch unter die Vorstellung von Wärmestoff bringen zu lassen, da Sadi Carnot nachwies, dass Wärme nur arbeite, wenn sie aus dem dichteren Zustande, der höheren Temperaturen entspricht, in den verdünnteren Zustand niederer Temperatur übergehe und sie sich hierin durchaus einem durch Ausdehnung arbeitenden Gase ähnlich zu verhalten schien.

In einer solchen Periode, wo eine grosse Menge neuer Thatsachen aufgefunden werden, die sich alle willig und sogar quantitativ genau unter eine bestimmte Hypothese ordnen, und wo letztere sich also als ein werthvolles heuristisches Princip für die Auffindung neuer Gesetzmässigkeit bewährt hat, bekommt

Digitized by Google

eine solche leicht ein zu grosses Gewicht in den Augen der Forscher, und diese gewöhnen sich daran einzelne widersprechende Thatsachen als vorläufig unerklärte, aber vielleicht nur scheinbare Ausnahmen bei Seite zu schieben in der Hoffnung, dass die Zukunft die besonderen Bedingungen kennen lehren werde, durch welche sie zu Stande kommen.

So war die Lage der Dinge etwa um das Jahr 1840. In der Wärmelehre waren in der That schon längst solche Vorgänge gefunden, die mit der Annahme eines imponderablen Wärmestoffs schwer oder gar nicht zu vereinigen waren. Dies waren Rumford's und Humphrey Davy's Versuche über Reibungswärme. Des ersteren Versuche strebte allerdings Berthollet in seinem Essai de Statique chimique (1803) mit der Hypothese des imponderablen Wärmestoffs zu vereinigen; Davy's Versuche waren dagegen vollkommen zwingend, und wenn sich auch noch Niemand fand, der eine bestimmtere Vorstellung über die Art der Wärmebewegung auszubilden wusste, so wurde die Möglichkeit einer solchen Erklärungsweise doch nicht bloss in wissenschaftlichen Abhandlungen, sondern selbst in Lehrbüchern und Schulen besprochen. Ich selbst erinnere mich, dass ich in der Tertia des Potsdamer Gymnasiums darüber einen Aufsatz zu machen hatte. Sowie also Jemand mit einigem Verständniss für die mathematisch-mechanischen Begriffe an dieses Problem kam und ihm ernsthaft seine Aufmerksamkeit zuwendete, so war nothwendig die erste Frage, ob das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft, das, soweit es gültig war, die Behandlung der Bewegungsprobleme so wesentlich erleichterte, in diesem Fall als gültig angesehen werden könne; und wenn diese Frage bejaht werden durfte und Wärme demnach als ein Quantum lebendiger Kraft anzusehen war, dann eröffnete sich in der That damit unmittelbar die Aussicht, dass die grösste Zahl der bisher angenommenen Ausnahmen von jenem Gesetze, welche die Reibung veranlasste, beseitigt wurden, indem man die durch die Reibung entstandene Wärme als das Aequivalent der scheinbar verloren gegangenen lebendigen Kraft in Anspruch nehmen konnte.

Offenbar hat die Unbestimmtheit der Vorstellung von der Wärmebewegung die theoretischen Physiker lange Zeit abgehalten das Problem anzugreifen. Es mussten erst wichtige und bestimmt abgegrenzte Fragen auftauchen, wie die über den Ursprung der Triebkräfte und der Wärme in den lebenden Wesen, deren Beantwortung nur von der Entscheidung über die Erhaltung der

Digitized by Google

Kraft bei der Wärmebewegung abhing, ohne dass die besondere Natur dieser Bewegung weiter in Frage kam.

Dass die Sache so lag, wie ich sie hier schildere, kann ich aus eigener persönlicher Erfahrung sehr bestimmt behaupten, da ich selbst diesen Weg gegangen bin, ohne von Mayer und anfangs auch ohne von Joule etwas zu wissen. In meinen Augen war die Arbeit, die ich damals unternahm, eine rein kritische und ordnende, deren Hauptzweck nur sein konnte, eine alte auf inductivem Wege gewachsene Ueberzeugung an dem neu gewonnenen Material zu prüfen und zu vervollständigen Es war immerhin noch viel Arbeit im Einzelnen zu thun, das Material vollständig zu sammeln, zwischen verschiedenen möglichen Erklärungen die Entscheidung zu suchen u. s. w. Ich selbst aber habe die leitenden Gesichtspunkte, denen ich folgte, damals durchaus nicht für neu, sondern für sehr alt gehalten, und habe deshalb auch die Bezeichnung meines Aufsatzes: „Ueber die Erhaltung der Kraft“, so gewählt, um ihn als eine Erweiterung des alten Princips „von der Erhaltung der lebendigen Kraft“ zu charakterisiren, ebenso wie ich in der Einleitung an die alte Frage von der Möglichkeit des Perpetuum mobile angeknüpft habe.

Nun will ich nicht behaupten, namentlich nicht in Beziehung auf R. Mayer, dem die Gelegenheit den damaligen Inhalt der Wissenschaft kennen zu lernen vielleicht knapper zugemessen gewesen war, als mir, dass nicht eine anerkennenswerthe Sicherheit und Selbständigkeit des Denkens dazu nöthig gewesen sei, um einen Weg einzuschlagen und auf ihm richtig fortzugehen, dessen Tradition den damaligen experimentellen Physikern ziemlich fern lag. Was er in dieser Beziehung geleistet hat, können doch immer nur Wenige leisten. Ich muss nur vor der ungerechtfertigten Uebertreibung warnen, als wäre sein Gedanke eine funkelnagelneue Einsicht ohne alle vorausgehenden Vorbereitungen gewesen, eine Minerva aus dem Kopfe des Zeus entsprungen, oder ein Räthselwort, welches nur ausgesprochen zu werden brauchte, um als die ungeahnte Antwort auf eine dunkle Frage einzuleuchten.

R. Mayer's erste Abhandlung, die ihm die Priorität dessen sichert, was an der besprochenen neuen Einsicht neu war, fällt in das Jahr 1842. Er hatte bis dahin Medicin studirt und nach einer Reise, die er als Schiffsarzt nach Java gemacht hatte, sich in Heilbronn als praktischer Arzt niedergelassen. Der betreffende

Digitized by Google

Aufsatz ist sehr kurz, giebt keine Beweise, wenigstens nichts, was ein Naturforscher als Beweis anerkennen würde, sondern stellt nur „Thesen“ auf. Herr Dühring selbst hat dies wohl eingesehen und bezeichnet diese kurze Notiz als veröffentlicht, um die Priorität der Entdeckung zu sichern und dadurch freiere Zeit zur weiteren Ausarbeitung des Ganzen zu gewinnen. Diesem Zwecke genügt sie auch und unter diesem Gesichtspunkt angesehen ist Alles, was sonst an ihr auffällt, verständlich. Das wesentlich Neue, was sie bringt, ist die Behauptung, dass eine bestimmte Wärmemenge einem bestimmten Arbeitsbetrage äquivalent sein müsse. Zugleich ist eine Methode angegeben, diesen Betrag zu berechnen und die Rechnung ausgeführt. Dass deren Resultat (365 kg. m) ziemlich weit von dem später festgestellten Werthe (425) abweicht, kann Mayer nicht zur Last gelegt werden. Die der Rechnung zu Grunde liegende Annahme, dass die Abkühlung eines sich dehnenden Gases der äusseren Arbeit desselben entspreche, hätte, wie Mayer später zeigte, durch Berufung auf ein von Gay-Lussac ausgeführtes Experiment gestützt werden können. Er hat diesen Versuch nicht angeführt, zu einer blossen Prioritätssicherung war dies auch nicht nöthig. Im Gegentheil, Autoren, die zu solchem Zwecke eine Notiz veröffentlichen, finden es zuweilen wünschenswerth, den Weg des Beweises noch nicht vollständig zu zeigen. Wollte Mayer dies erreichen, so war die Form ganz wohl geeignet.

Wenn aber die Notiz als eine solche, vielleicht absichtlich halb unverständlich gehaltene Prioritätssicherung angesehen werden soll, gegeben ohne Beweise: so sollten Mayer's Bewunderer auch nicht erwarten, dass dieselbe einen unmittelbaren grossen Erfolg unter den Naturforschern haben konnte. Man bedenke nur die damalige Situation. Ein gänzlich unbekannter junger Arzt veröffentlicht eine kurze Notiz, worin er versichert, er glaube, dass jede Wärmeeinheit ein bestimmtes Arbeitsäquivalent habe und das müsse 365 m Hebung der Gewichtseinheit für einen Grad Celsius entsprechen. Was er an Erläuterungen hinzufügt, sind einige seit alter Zeit aus den Anwendungen des Princips von der lebendigen Kraft bekannte Thatsachen, auf den Fall der Körper bezüglich. In diesen [1]) ist das Arbeitsäquivalent der Bewegung sogar fehlerhaft berechnet, indem der Factor $^1/_2$ aus dem Werthe der lebendigen Kraft weggelassen ist. Eine andere

[1]) S. 6 in der Sammlung von R. Mayer's Abhandlungen: „Die Mechanik der Wärme.“ Stuttgart 1874.

Digitized by Google

unrichtige Versicherung [1]), dass nämlich Eis durch den unerhörtesten Druck nicht in Wasser verwandelt werden könne, würde dem eventuellen Leser damals noch nicht als thatsächlich falsch aufgefallen sein, aber doch ein zweifelhaftes Licht auf die wissenschaftliche Vorsicht des Autors geworfen haben. Eingeleitet ist das Ganze durch Folgerungen aus dem Satze: „causa aequat effectum“, die Ursache ist der Wirkung an Grösse gleich, aus welchem mittels einer sehr bedenklichen Interpretation herausgelesen wird, dass, was als Ursache wirke, unzerstörbar sei. Diese Einleitung erscheint als das Einzige, was nach dem Sinne des Autors einen Beweis vertreten sollte. Es war eine Art des Beweises, die an sich vollkommen ungenügend, in jener Zeit kräftiger Reaction gegen die speculativen Ueberschwänglichkeiten der Hegel'schen Philosophie jeden aufgeklärten Naturforscher gleich von vornherein vom Weiterlesen abschrecken mochte, noch ehe er auf der zweiten Seite die Kräfte kurzweg mit den Imponderabilien identificirt fand und auf der vierten und sechsten Seite jenen schon angeführten Fehlern begegnete. Dass in dieser Abhandlung wirklich bedeutende Gedanken steckten, dass sie nicht in die breite Litteratur von unklaren Einfällen gehörte, welche alljährlich von schlecht unterrichteten Dilettanten aufgetischt werden, konnte höchstens ein Leser merken, der schon ähnliche Gedanken in sich herumgewälzt hatte, und diese unter dem etwas fremdartigen Wortgebrauch des Autors wieder zu erkennen wusste. Liebig, der im Jahre, wo Mayer's Abhandlung erschien, sein Buch über Thierchemie herausgab, in der er die Frage des chemischen Ursprungs der thierischen Wärme eingehend erörterte, war vielleicht ein solcher Leser, und nahm deshalb den Aufsatz in sein Journal der Chemie auf. Dort werden freilich Physiker und Mathematiker kaum Aufschlüsse über die Principien der Mechanik gesucht haben; das ist noch ein Nebenumstand, der dem Bekanntwerden des Aufsatzes hinderlich entgegentreten mochte.

Das Liebäugeln mit der Metaphysik in Mayer's beiden ersten Veröffentlichungen erklärt sich wohl aus der damaligen Unzulänglichkeit seines empirischen Materials. Einem findigen und nachdenklichen Kopfe, wie er unzweifelhaft war, gelingt es gelegentlich auch aus dürftigem und lückenhaftem Material richtige Verallgemeinerungen zu bilden. Wenn er dann aber die

[1]) R. Mayer, die Mechanik der Wärme. S. 8.

Digitized by Google

Beweise dafür zu Papier zu bringen sucht und das Ungenügende derselben fühlt, so kommt er leicht dazu, sich mit unbestimmt allgemeinen Betrachtungen von zweifelhaftem Werthe helfen zu wollen. So beginnt, wie schon bemerkt, R. Mayer seine erste Abhandlung mit Betrachtungen über den vieldeutig unbestimmten Satz: „Causa aequat effectum" und schiebt diesem einen Sinn unter, wonach die Wirkung mit demselben Werthe ihrer Grösse wieder neue Ursache müsse werden können. Aus dem „aequat", d. h. „ist gleich", wird gemacht ein „bleibt gleich". Abgesehen hiervon und von der weiteren Frage, ob der genannten letzteren Deutung nicht eine Verwechselung der Begriffe von „Ursache und Wirkung" mit „Veranlassung und Folge" zu Grunde liege, ist klar, dass die in der Natur sich vorfindenden Arbeitsäquivalente erst dann als causa und effectus, von denen jener Satz redet, aufgefasst werden dürfen, wenn ihre Unzerstörbarkeit bewiesen ist, d. h. dasjenige als Voraussetzung schon feststeht, was unser Autor aus jenem Satze herzuleiten sich bemüht. Ebenso ist es mit den Sätzen, die er an die Spitze der zweiten Abhandlung des Jahres 1845 stellt: Ex nihilo nil fit. Nil fit at nihilum. (Aus nichts wird nichts. Nichts wird zu nichts.) Jetzt, wo man den grossen Zusammenhang der Arbeitsäquivalente des Weltalls kennt und in weitem Umfange empirisch nachgewiesen hat, kann man sagen, dass sie als Ens, welches nicht zu Nichts werden und nicht aus Nichts entstehen könne, gefasst werden dürfen. Dazu war doch aber kein Recht da, ehe ihre Beständigkeit erfahrungsmässig nachgewiesen war. So genügt R. Mayer's erste Arbeit allerdings dazu, um jetzt nachträglich zu erkennen, dass er schon im Jahre 1842 den Sinn und die Gültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft im Wesentlichen richtig erfasst hatte, wenn auch die Art, wie er seine Erkenntniss darzustellen sich bemüht, noch von ziemlich starker Befangenheit in dem falschen Rationalismus der damaligen medicinischen Schulen und der damaligen Naturphilosophie zeugt.

Was J. P. Joule's gleichzeitige Arbeiten betrifft, so hatte dieser schon vor R. Mayer's erster Veröffentlichung, nämlich im Jahre 1841, Versuche ausgeführt, die ein mit der Frage über das mechanische Wärmeäquivalent ganz nah verwandtes Thema behandeln, nämlich die Beziehungen zwischen der Wärme und den elektrischen Kräften einer galvanischen Batterie. Er hatte durch Versuche nachgewiesen, so weit die Genauigkeit der damals angewendeten Methoden dies zuliess, dass die gesammte

Digitized by Google

Wärmeentwickelung im Leitungskreise einer galvanischen Batterie unabhängig von der Zusammensetzung dieses Kreises und proportional sei dem Betrage der in dem Kreise eingetretenen chemischen Zersetzungen [1]). Noch in demselben Jahre [2]) berichtet er über eine weitere Reihe von Versuchen, aus denen hervorgeht, dass die elektrisch entwickelte Wärme der chemisch zu entwickelnden nicht nur proportional, sondern gleich sei, und dass diese Wärme in diesem Falle nicht an dem Orte, wo die chemischen Processe vor sich gehen, sondern in der ganzen Länge des Schliessungsbogens zum Vorschein komme. Dann erst erschien R. Mayer's erster Aufsatz im Mai 1842. Joule hatte um diese Zeit also ein für die allgemeine Durchführung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft ebenfalls höchst wichtiges Thema selbständig behandelt und durchgeführt. Unmittelbar folgerte er aus diesen Thatsachen allerdings noch nichts, was mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft zusammenhängt, sondern sprach nur die Vermuthung aus, dass auch bei den directen chemischen Verbrennungen die Wärmeentwickelung durch einen ähnlichen elektrischen Process bedingt sei. Diese Aehnlichkeit ist allerdings nach neueren Ansichten eine ziemlich fernliegende; Joule's Schluss ist nur dadurch für die Richtung seiner Gedanken bezeichnend, als er sich nicht auf die Annahme eines am Orte des chemischen Processes frei gewordenen und von der Elektricität nur transportirten imponderablen Wärmestoffs einlässt. Im Gegentheil, indem er durchaus folgerichtig auf seinem Wege weiter geht, unternimmt er im nächsten Jahre, diese letztere Möglichkeit an den magnetelektrischen Strömen zu prüfen. In diesen besteht kein Process, der gebundene Wärme frei machen könnte. Wenn auch bei diesen Wärme nur transportirt würde, müsste sie da fehlen und Kälte entwickelt werden, wo die elektromotorischen Kräfte wirken, nämlich in den inducirenden Spiralen. Der Versuch widerlegt diese Voraussetzung und zeigt im Gegentheil, dass durch die inducirten magnetelektrischen Ströme bald neue Wärme unter Verbrauch von Arbeit erzeugt wird, bald an Stelle der nicht entwickelten Wärme mechanische Arbeitsleistung auftritt. Schliesslich wird das Verhältniss zwischen der verlorenen Arbeit und gewonnenen Wärme bestimmt und im Mittel zu 838 englischen Fuss per Grad

---

[1]) Philosoph. Magazine XIX, p. 260. October 1841.

[2]) Ebenda XX, p. 98. Februar 1842. Gelesen vor der Litter. and Philosoph. Society of Manchester, 2. November 1841.

Digitized by Google

Fahrenheit (d. h. 460 m für 1° C.) gefunden. Diesen vom Juli 1843 datirten Mittheilungen[1]) ist noch eine vom August datirte angefügt, welche die erste Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents durch Reibung von Wasser liefert und auf 770 Fuss per 1° F. (422 m per 1° C.), also schon sehr nahe den besten später bestimmten Werthen, ausfällt.

Alles dies ist zwei Jahre vor R. Mayer's zweitem Aufsatze veröffentlicht. Mayer's erste Notiz von 1842 versicherte Joule um jene Zeit noch nicht gekannt zu haben. Nehmen wir aller Wahrscheinlichkeit zum Trotz mit Herrn Dühring an, er hätte sie gekannt. Was konnte sie ihm geben, selbst wenn er sich die Mühe nahm die richtige Interpretation ihres Sinnes zu suchen und durch eigenes Nachdenken zu ergänzen, was ihr Autor nicht erklärt hatte? Doch jedenfalls keinerlei sichere Ueberzeugung von der Richtigkeit der vorgetragenen Ansicht; ein thatsächlicher Beweis, wie ihn Joule verlangt haben würde, war nicht gegeben. Allenfalls konnte ein wohlwollender Leser vielleicht dahin gelangen einzusehen, dass dies eine beachtenswerthe Hypothese sei und konnte den Anstoss zu eigenen Ueberlegungen über das Thema empfangen. Wenn nun Joule um die Zeit, wo Mayer's Notiz erschienen war, plötzlich angefangen hätte in einer neuen Richtung zu arbeiten, so hätte die Hypothese, er habe von daher seinen Anstoss empfangen, etwas Glaubhaftes. Aber im Gegentheil, er ging ganz folgerichtig weiter in den Arbeiten, mit denen er vorher beschäftigt war. Der ganze Zusammenhang, wie er zu seinen Ergebnissen kam, liegt klar vor unsern Augen und es ist ganz deutlich, dass er keines von aussen kommenden Anstosses bedurfte, um sich der Frage über die Aequivalenz von Wärme und Arbeit zuzuwenden, und was er im Jahre 1843 gab, waren nun wirklich die ersten thatsächlichen Beweise für diese Aequivalenz.

Die von Mayer gegebene Berechnung dieser Grösse für einen Fall, selbst wenn sie als begründet anerkannt wurde, bewies ja nichts. Es musste gezeigt werden, dass ganz verschiedene Vorgänge genau denselben Werth ergeben, was Joule in der That gethan hat. Dadurch erst wurde Mayer's Ansicht über den Rang einer nicht unwahrscheinlichen Hypothese hinausgerückt. Ausserdem war es Joule, der hier zum ersten Male den Nach-

---

[1]) Philosophical Magazine XXIII, p. 265, 347, 435. Octbr. bis Decbr. 1843. Vorgetragen am 21. August 1843 vor der Brittish Association.

Digitized by Google

weis führte, dass mechanische Arbeitsleistung an Stelle von Wärme treten könne. Die Leistungen der Dampfmaschinen hatten Carnot und Clapeyron zunächst mit der Theorie vom Wärmestoff in geschickte Uebereinstimmung gebracht und R. Mayer hatte, was er an thatsächlicher Belegung für seine Ansicht von der Arbeit der Gase hatte, noch zurückgehalten.

Uebrigens hatte auch der durch viele pharmaceutisch chemische Arbeiten bekannte K. Fr. Mohr schon im Jahre 1837, also vor R. Mayer's erstem Aufsatze, einen Abriss einer mechanischen Theorie der Wärme[1]) veröffentlicht, der in vielen Beziehungen der später entwickelten mathematischen Theorie entspricht. Freilich misslingt ihm die richtige Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Kraft aufzufinden. Aber er sucht doch nach einer solchen und der Aufsatz zeigt, dass um jene Zeit ähnliche Speculationen nicht ungewöhnlich waren; er zeigt aber auch, wie weit R. Mayer ihm überlegen war.

Ich hoffe meinen Lesern dargethan zu haben, dass das längere Verborgenbleiben von R. Mayer's erster Arbeit sich aus sehr begreiflichen und berechtigten Ursachen erklärt; ferner, dass R. Mayer zwar ein höchst selbständiger und scharfsinniger Kopf war, von dem man grosse Leistungen erwarten durfte, wenn es ihm vergönnt gewesen wäre in voller Geisteskraft weiter zu arbeiten; aber nicht ein solcher, der Dinge geleistet hätte, die nicht auch andere seiner Zeitgenossen hätten leisten können und thatsächlich auch ohne seine Unterstützung geleistet haben. Ist ihm nun schweres Unrecht durch Vernachlässigung geschehen, wie es seine metaphysischen Anhänger darstellen? Wenn man seinen ersten Aufsatz von 1842 als Prioritätssicherung auffasst, so hat er als solche vollkommen seine Dienste gethan, als die Zeit herangekommen war. Wenn dieser Aufsatz nicht existirte, so würde nichts beweisen, dass Mayer seine Ideen nicht von Joule empfangen habe. Für diesen Aufsatz mehr zu verlangen, nämlich dass er auf seine Leser überzeugend wirken sollte, scheint mir ein Verkennen der richtigen Grundlagen wissenschaftlichen Beweises zu sein. Der zweite Aufsatz fiel in eine Zeit, wo theils kurz vorher, theils gleichzeitig, theils kurz nachher Joule und ich selbst dieselbe Sache in Angriff genommen hatten. Auch für uns war das Beharrungsvermögen der bestehenden Meinung nicht ganz leicht und nicht sehr schnell zu

[1]) Annalen der Pharmacie Bd. XXIV, S. 141.

Digitized by Google

überwinden. Das höchste Interesse für den Träger einer neuen Idee sollte doch vor Allem sein, dass diese Idee die Ueberzeugung der Menschen für sich gewinne. Wenn für R. Mayer diese Genugthuung auch bis in den Anfang des nächsten Jahrzehnts noch auf sich warten liess, so wird man dies einer so tief gehenden Aenderung der wissenschaftlichen Anschauungen gegenüber, wie sie hier verlangt wurde, kaum für eine lange Frist halten dürfen. Freilich wurde ihm die persönliche Befriedigung, sich selbst als den ersten Apostel dieser Idee anerkannt zu sehen, noch etwas länger versagt. Aber mindestens seit 1854, d. h. neun Jahre nach seiner definitiven Publication, begann doch auch sein Name und sein Verdienst bekannt zu werden und es sind ihm die äusseren Zeichen der Verehrung und Anerkennung später vielfach zu Theil geworden. Natürlich hätte die Sache anders gelegen, wenn er an wissenschaftlicher Arbeit und an der thatsächlichen Beweisführung für die von ihm vertretenen Ideen hätte rüstig Theil nehmen können. Er hat das bittere Schicksal eines früh invalide gewordenen Kämpfers gehabt; es ist nicht zu leugnen, dass solche von der Menschheit noch nicht so rücksichtsvoll und dankbar behandelt werden, wie es geschehen sollte. Mayer's wenige spätere Schriften zeigen, dass er sich den hellen Geist auch noch in den späteren Perioden von Wohlbefinden bewahrt hatte. Aber ausdauernder wissenschaftlicher Arbeit scheint er sich nicht mehr haben unterziehen zu können.

Da ihm die unvollendete Form, in der seine Arbeiten geblieben sind, in keiner Weise zum persönlichen Vorwurf gemacht werden darf, möchte ich die heranreifenden Jünger der Wissenschaft noch auf die Lehre aufmerksam machen, die in seinem Schicksal liegt: Die besten Gedanken kommen in Gefahr fruchtlos zu bleiben, wenn ihnen nicht die Arbeitskraft zur Seite steht, welche ausharrt, bis der überzeugende Beweis für ihre Richtigkeit geführt ist.

Digitized by Google

2) Berechnungen.

(Zu Seite 46.)

Ich muss hier noch angeben, wie die Rechnung über die Erwärmung ausgeführt ist, welche durch die angenommene anfängliche Verdichtung der Himmelskörper unseres Systems aus nebelartigem zerstreutem Stoffe entstehen musste. Die übrigen Rechnungen, deren Resultate ich angeführt habe, finden sich theils bei J. R. Mayer und Joule, theils sind sie mit Hilfe der bekannten Thatsachen und Methoden der Wissenschaft leicht auszuführen.

Maass der Arbeit, welche bei der Verdichtung der Masse aus einem Zustande unendlich kleiner Dichtigkeit geleistet wurde, ist das Potential der verdichteten Massen auf sich selbst. Für eine Kugel von gleichmässiger Dichtigkeit, der Masse M, und dem Halbmesser R hat das Potential auf sich selbst V, wenn wir die Masse der Erde m nennen, deren Radius r und die Intensität der Schwere auf der Erdoberfläche g, den Werth

$$V = \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M^2}{R.\, m} \cdot g$$

Betrachten wir die Himmelskörper unseres Systems als solche Kugeln, so ist die ganze Verdichtungsarbeit gleich der Summe aller ihrer Potentiale auf sich selbst. Da sich aber diese Potentiale für verschiedene Kugeln, wie die Grösse $\frac{M^2}{R}$ verhalten, verschwinden sie alle gegen das der Sonne; selbst das des grössten Planeten, des Jupiter, ist nur etwa der hunderttausendste Theil von dem der Sonne; wir brauchen also in der Rechnung auch nur dieses allein zu berücksichtigen.

Digitized by Google

Um die Temperatur einer Masse M von der specifischen Wärmecapacität σ um t Grade zu erhöhen, braucht man eine Wärmemenge gleich $M\sigma t$, diese entspricht, wenn Ag das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit ist, der Arbeit $Ag\ M\sigma t$. Um die durch die Verdichtung der Sonnenmasse bewirkte Temperaturerhöhung zu finden, setzen wir

$$Ag\,M\sigma t = V, \text{ also}$$
$$t = \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M}{A.R.m.\sigma}.$$

Für eine an Masse der Sonne gleiche Wassermasse ist $\sigma = 1$ zu setzen, dann ergiebt die Rechnung mit den bekannten Werthen von A, M, R, m und r, dass

$$t = 28\,611\,000^0\,\mathrm{C}.$$

Die Masse der Sonne ist 738 Mal grösser, als die der Planeten zusammengenommen, wollen wir also die Wassermasse gleich der des ganzen Systems machen, so müssen wir den Werth von t mit $\frac{738}{739}$ multipliciren, was ihn kaum merklich ändert.

Wenn eine kugelförmige Masse vom Radius R_0 sich mehr und mehr zusammenzieht, bis zum Radius R_1, so ist die dadurch bedingte Temperatursteigerung

$$\vartheta = \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M}{A.m\sigma} \left\{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0}\right\} \text{ oder}$$
$$= \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M}{A R_1 m\sigma} \left\{1 - \frac{R_1}{R_0}\right\}.$$

Denken wir uns also die Masse des Planetensystems anfangs nicht als eine Kugel von unendlich grossem Radius, sondern begrenzt, etwa vom Radius der Neptunsbahn, welcher 6000 Mal grösser ist, als der Sonnenhalbmesser, so wird die Grösse $\frac{R_1}{R_0}$ gleich $\frac{1}{6000}$.

Um diesen verhältnissmässig unbedeutenden Theil würde dann der obige Werth von t zu verringern sein.

Aus denselben Formeln ist abzuleiten, dass eine Verkleinerung des Sonnenhalbmessers um $\frac{1}{10000}$ noch eine Arbeit, äquivalent 2861 Wärmegraden in einer der Sonne gleichen Wassermasse, erzeugen würde. Und da sich nach Pouillet jährlich eine Wärmemenge, entsprechend $1^1/_4$ Grad in einer solchen Wassermasse verliert, so würde jene Verdichtung für 2289 Jahre den Verlust decken.

Digitized by Google

Wenn die Sonne, wie es wahrscheinlich erscheint, nicht überall von gleicher Dichtigkeit ist, sondern im Centrum dichter, so wird das Potential ihrer Masse und die entsprechende Wärmemenge noch grösser.

Von den noch jetzt vorhandenen mechanischen Kraftgrössen ist die lebendige Kraft der Rotationen der Himmelskörper um ihre eigene Axe, verhältnissmässig zu den übrigen Grössen, sehr klein und zu vernachlässigen; die lebendige Kraft der Umlaufbewegungen um die Sonne und die Arbeitsgrösse der Anziehung der Sonne ist, wenn μ die Masse eines Planeten, ϱ seine Entfernung von der Sonne bedeutet

$$L = \frac{gr^2 M\mu}{m}\left\{\frac{1}{R} - \frac{1}{2\varrho}\right\}$$

lässt man die Grösse $\frac{1}{2\varrho}$ weg, als verhältnissmässig sehr klein gegen $\frac{1}{R}$ und dividirt durch den obigen Werth von V, so erhält man

$$\frac{L}{V} = \frac{5}{3}\frac{\mu}{M}.$$

Die Masse aller Planeten zusammen ist $\frac{1}{738}$ der Sonnenmasse, folglich der Werth von L für das ganze System

$$L = \frac{1}{443}\ V.$$

Zusatz (1883). Bei Benutzung der neuern Werthe für die Massen des Planetensystems und für den Abstand der Sonne von der Erde ergiebt sich die oben S. 56 und S. 76 zu $1\frac{1}{4}{}^0$ C. angesetzte jährliche Temperaturabnahme zu $1{,}96^0$ C. und die Gesammterhitzung t zu $26\,845\,000^0$ C.

Digitized by Google

ÜBER DIE

PHYSIOLOGISCHEN URSACHEN

DER

MUSIKALISCHEN HARMONIE.

Vorlesung

gehalten in

Bonn im Winter 1857.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

In der Vaterstadt Beethovens, des gewaltigsten unter den
Heroen der Tonkunst, schien mir kein Gegenstand zur Bespre-
hung in einem grösseren Kreise geeigneter als die Musik. Ich will
laher, der Richtung folgend, die meine Arbeiten in der letzten
Zeit genommen haben, versuchen Ihnen auseinander zu setzen,
ras Physik und Physiologie über die geliebteste Kunst des Rhein-
andes, über Musik und musikalische Verhältnisse zu sagen wissen.
ie Musik hat sich bisher mehr als jede andere Kunst der wissen-
chaftlichen Behandlung entzogen. Dichtkunst, Malerei und Bild-
auerei entnehmen wenigstens das Material für ihre Schilderungen
us der Welt der Erfahrung, sie stellen Natur und Menschen dar.
icht blos kann nun dieses ihr Material auf seine Richtigkeit und
aturwahrheit kritisch untersucht werden, sondern sogar in der
rforschung der Gründe für das ästhetische Wohlgefallen, welches
ie Werke dieser Künste erregen, hat die wissenschaftliche Kunst-
ritik, wenn auch enthusiastische Seelen ihr dazu oft die Berechti-
ung bestreiten, unverkennbare Fortschritte gemacht. In der Mu-
k dagegen behalten, wie es scheint, vorläufig noch diejenigen
echt, welche die kritische „Zergliederung ihrer Freuden“ von
ch weisen. Diese Kunst, die ihr Material nicht aus der sinn-
chen Erfahrung nimmt, die nicht die Aussenwelt zu beschreiben,
ur ausnahmsweise sie nachzuahmen sucht, entzieht dadurch der
issenschaftlichen Betrachtung die meisten Angriffspunkte, die
ie anderen Künste darbieten, und erscheint daher in ihren Wir-
ungen ebenso unbegreiflich und wunderbar, wie sie mächtig ist.
ir müssen und wollen uns deshalb vorläufig auf die Betrachtung
res künstlerischen Materials, der Töne oder Tonempfindungen,
schränken. Es hat mich immer als ein wunderbares und be-

Digitized by Google

sonders interessantes Geheimniss angezogen, dass gerade in der Lehre von den Tönen, in den physikalischen und technischen Fundamenten der Musik, die unter allen Künsten in ihrer Wirkung auf das Gemüth als die stoffloseste, flüchtigste und zarteste Urheberinn unberechenbarer und unbeschreiblicher Stimmungen erscheint, sich die Wissenschaft des reinsten und consequentesten Denkens, die Mathematik, so fruchtbar erwies. Der Generalbass ist ja eine Art angewandter Mathematik; in der Abtheilung der Tonintervalle, der Tacttheile u. s. w. spielen die Verhältnisse ganzer Zahlen, — zuweilen sogar Logarithmen — eine hervorragende Rolle. Mathematik und Musik, der schärfste Gegensatz geistiger Thätigkeit, den man auffinden kann, und doch verbunden, sich unterstützend, als wollten sie die geheime Consequenz nachweisen, die sich durch alle Thätigkeiten unseres Geistes hinzieht und die uns auch in den Offenbarungen des künstlerischen Genius unbewusste Aeusserungen geheimnissvoll wirkender Vernunftmässigkeit ahnen lässt.

Indem ich die physikalische Akustik vom physiologischen Standpunkte aus betrachtete, d. h. näher der Rolle nachging, welche dem Ohr in der Wahrnehmung der Töne zuertheilt ist, schien sich manches in seinem Zusammenhange klarer darzustellen; und so will ich denn versuchen, ob ich Ihnen einiges von dem Interesse mittheilen kann, welches diese Fragen in mir erregt haben, indem ich Ihnen einige Ergebnisse der physikalischen und physiologischen Akustik anschaulich zu machen suche.

Die Kürze der zugemessenen Zeit fordert, dass ich mich auf einen Hauptpunkt beschränke; ich will aber den wichtigsten von allen herausgreifen, an welchem Sie am besten erkennen werden, welche Bedeutung und Ergebnisse wissenschaftliche Untersuchungen in diesem Gebiete haben können, nämlich die Frage nach dem Grunde der Consonanz. Thatsächlich steht fest, dass die Schwingungszahlen consonanter Töne zu einander immer im Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen stehen. Aber warum? Was haben die Verhältnisse der kleinen ganzen Zahlen mit der Consonanz zu thun? Es ist dies eine alte Räthselfrage, die schon Pythagoras der Menschheit aufgegeben hat, und die bisher ungelöst geblieben ist. Sehen wir zu, ob wir sie mit den Hülfsmitteln der modernen Wissenschaft beantworten können.

Zuerst, was ist ein Ton? Schon die gemeine Erfahrung lehrt uns, dass alle tönenden Körper in Zitterungen begriffen sind. Wir sehen und fühlen dies Zittern, und bei starken Tönen fühlen wir,

Digitized by Google

Staatsbibliothek

selbst ohne den tönenden Körper zu berühren, das Schwirren der uns umgebenden Luft. Specieller zeigt die Physik, dass jede Reihe von hinreichend schnell sich wiederholenden Stössen, welche die Luft in Schwingung versetzt, in dieser einen Ton erzeugt.

Musikalisch wird der Ton, wenn die schnellen Stösse in ganz regelmässiger Weise und in genau gleichen Zeiten sich wiederholen, während unregelmässige Erschütterungen der Luft nur Geräusche geben. Die **Höhe** eines musikalischen Tons hängt von der Zahl solcher Stösse ab, die in gleicher Zeit erfolgen; je mehr Stösse in derselben Zeit, desto höher der Ton. Dabei stellt sich, wie bemerkt, ein enger Zusammenhang zwischen den bekannten harmonischen, musikalischen Intervallen und der Zahl der Luftschwingungen heraus. Wenn bei einem Tone zweimal so viel Schwingungen in derselben Zeit geschehen, wie bei einem anderen, so ist er die höhere Octave dieses anderen. Ist das Verhältniss der Schwingungen in gleicher Zeit 2 : 3, so bilden beide Töne eine Quinte, ist es 4 : 5, so bilden sie eine grosse Terz.

Wenn Sie sich merken, dass die Anzahl der Schwingungen bei den Tönen des Duraccords *C E G C* im Verhältniss der Zahlen 4 : 5 : 6 : 8 steht, so können Sie daraus alle anderen Tonverhältnisse herleiten, indem Sie über jeden der genannten Töne sich einen neuen Duraccord gebaut denken, der dieselben Schwingungsverhältnisse zeigt. Die Zahl der Schwingungen ist, wie sich bei einer nach dieser Regel angestellten Berechnung ergiebt, innerhalb des Gebietes der hörbaren Töne ausserordentlich verschieden. Da die höhere Octave eines Tones zweimal so viel Schwingungen macht als ihr Grundton, so macht die zweit höhere 4mal, die dritte 8mal so viel. Unsere neueren Pianofortes umfassen 7 Octaven; ihr höchster Ton macht deshalb 128 Schwingungen in derselben Zeit, wo ihr tiefster eine Schwingung vollführt.

Das tiefste C_1 was unsere Claviere zu haben pflegen, und welches die sechszehnfüssigen offenen Pfeifen der Orgel geben, — die Musiker nennen es das Contra-*C* — macht 33 Schwingungen in der Secunde. Wir nähern uns bei ihm schon den Gränzen des Hörens. Sie werden auf dem Pianoforte bemerkt haben, dass diese Töne einen dumpfen, schlechten Klang haben; man kann ihre musikalische Höhe, die Reinheit ihrer Stimmung nicht mehr so leicht ganz scharf beurtheilen. Auf der Orgel ist das Contra-*C* etwas kräftiger als das der Saiten, aber auch hier fühlt sich das Ohr über die musikalische Höhe des Tons unsicher. Auf den grösseren Orgeln findet sich noch eine ganze Octave unter diesem

Digitized by Google

Contra-*C*, bis zu einer 32füssigen Pfeife, die das nächst tiefere *C* von $16^1/_2$ Schwingungen in der Secunde giebt; aber das Ohr empfindet diese Töne kaum noch als etwas anderes, denn als ein dumpfes Dröhnen, und je tiefer sie sind, desto deutlicher unterscheidet es schon die einzelnen Luftstösse in ihnen. Sie werden deshalb musikalisch auch immer nur zur Verstärkung der Töne der nächst höheren Octave gebraucht, denen sie den Eindruck grösserer Tiefe geben.

Mit Ausnahme der Orgel finden die übrigen musikalischen Instrumente die Grenze ihrer Tiefe alle, so verschiedene Mittel zur Tonerzeugung sie auch anwenden, ungefähr in derselben Gegend der Tonleiter wie das Clavier, nicht weil es unmöglich wäre langsamere Luftstösse von ausreichender Kraft hervorzubringen, sondern weil das Ohr seinen Dienst versagt und langsamere Stösse eben nur als einzelne Stösse empfindet, nicht zu einem Tone zusammenfasst.

Die oft wiederholte Angabe des französischen Physikers Savart, dass er an einem besonders construirten Instrumente Töne von acht Schwingungen in der Secunde gehört habe, scheint auf einem Irrthume zu beruhen.

Nach der Höhe hin giebt man den Pianoforte's wohl einen Umfang bis zur 7. Octave des Contra-*C*, dem sogenannten fünfgestrichenen *c* von 4224 Schwingungen in der Secunde. Von den Orchesterinstrumenten könnte nur die Piccolflöte ebenso hoch, oder noch einen Ton höher gehen. Die Violine pflegt nur bis zu dem zunächst darunter liegenden *E* von 2640 Schwingungen in der Secunde gebraucht zu werden, abgesehen von den Kraftleistungen himmelstürmerischer Virtuosen, welche hier gern Motive suchen, um ihren Hörern neues und unerhörtes Herzweh zu bereiten. Solchen winken übrigens über dem fünfgestrichenen *C* noch drei ganze Octaven hörbarer und den Ohren höchst schmerzhafter Töne entgegen, wie Despretz nachgewiesen hat, der mittels kleiner, mit dem Violinbogen gestrichener Stimmgabeln das achtgestrichene *C* von 32770 Schwingungen in der Secunde erreicht zu haben angiebt. Dort erst schien die Tonempfindung ihre Gränze zu erreichen, und auch hier waren in den letzten Octaven die Intervalle nicht mehr zu unterscheiden.

Die musikalische Höhe des Tons hängt nur von der Zahl der Luftschwingungen in der Secunde ab, nicht von der Art, wie sie hervorgebracht werden. Es ist gleichgültig, ob es durch die schwingenden Saiten des Claviers und der Violine, durch die

Digitized by Google

Stimmbänder des menschlichen Kehlkopfs, durch die Metallzungen des Harmonium, die Rohrzungen der Clarinette, Oboe und des Fagotts, durch die Schwingung der Lippen des Blasenden im Mundstück der Blechinstrumente, oder durch die Brechung der Luft an den scharfen Lippen der Orgelpfeifen und Flöten geschieht.

Ein Ton von gleicher Schwingungszahl ist immer gleich hoch, von welchem dieser Instrumente er auch hervorgebracht werden mag. Was übrigens nun noch die Note *A* des Claviers von der gleichen Note *A* der Violine, Flöte, Clarinette, Trompete unterscheidet, nennt man die Klangfarbe, auf die wir später noch zurückkommen.

Als ein interessantes Beispiel zur Erläuterung der hier vorgetragenen Sätze erlaube ich mir Ihnen ein eigenthümliches physikalisches Tonwerkzeug vorzuführen, nämlich die sogenannte Sirene, Fig. 1, welches besonders geeignet ist, alles was von den Verhältnissen der Schwingungszahlen abhängt, festzustellen.

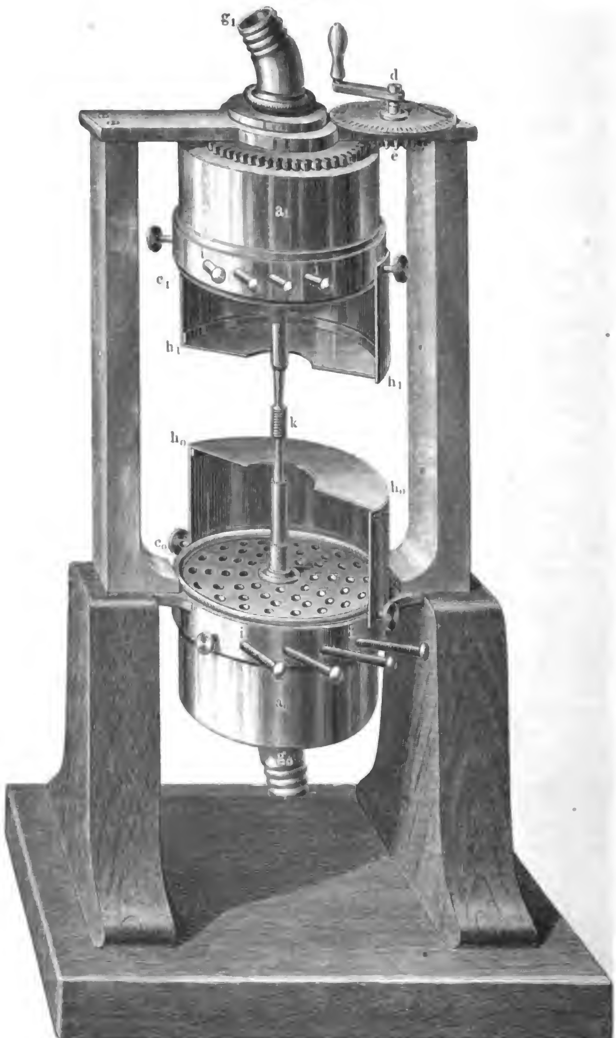
Um Töne durch dieses Instrument hervorzubringen, werden die Zuleitungsröhren g_0 und g_1 durch Schläuche mit einem Blasebalge verbunden; die Luft tritt dann in die runden Messingkästen a_0 und a_1 und durch die durchlöcherten Deckel dieser Kästen bei c_0 und c_1 wieder heraus. Die Löcher für die austretende Luft sind aber nicht ganz frei durchgängig, sondern unmittelbar vor den Deckeln der beiden Kästen befinden sich noch zwei ebenso durchlöcherte Scheiben, die an einer sehr leicht laufenden senkrechten Axe k befestigt sind. In der Figur sieht man bei c_0 nur die durchlöcherte Scheibe, unmittelbar unter ihr liegt die ebenso durchlöcherte Deckelplatte des Kastens. Am oberen Kasten bei c_1 sieht man nur den Rand der Scheibe. Wenn nun die Löcher der Scheibe gerade vor den Löchern des Deckels stehen, dann kann die Luft frei austreten. Wenn aber die Scheibe gedreht wird, so dass undurchbrochene Stellen der Scheibe vor den Löchern des Kastens stehen, so ist ihr Austritt verhindert. Lassen wir nun die Scheiben schnell umlaufen, so wechselt fortdauernd Oeffnung und Schliessung der Ausflusslöcher des Kastens; während der Oeffnung tritt Luft aus, während der Schliessung wird sie zurückgehalten, und so zerfällt der continuirliche Luftstrom des Blasebalgs mittels dieser Vorrichtung in eine Reihe von abgebrochenen Luftstössen, welche, wenn sie schnell genug auf einander folgen, sich zu einem Tone an einander reihen.

Jede von den drehbaren Scheiben dieses Instrumentes, welches complicirter gebaut ist als die bisherigen Instrumente ähnlicher Art und deshalb eine viel grössere Zahl von Toncombinationen erlaubt, hat vier Löcherreihen, die untere mit 8, 10, 12, 18, die obere mit 9, 12, 15 und 16 Löchern. Die Löcherreihen in den Deckelplatten der Windkästen sind denen in den Scheiben ganz gleich; unter jeder von ihnen befindet sich aber noch ein ebenfalls durchlöcherter Ring, den man mittels der Stifte *i i i i* entweder so stellen kann, dass die betreffende Löcherreihe der Deckelplatte frei mit dem Innern des Kastens communicirt, oder abgeschlossen wird. Man kann also jede beliebige von den acht Löcherreihen des Instruments einzeln,

Digitized by Google

oder je zwei und je drei zusammen anblasen in willkührlicher Combination, indem man die Stifte *i i* beliebig verstellt.

Fig. 1.



Digitized by Google

Die runden Kästen $h_0 h_0$ und $h_1 h_1$, die in der Figur nur halb gezeichnet sind, dienen dazu, durch ihre Resonanz den scharfen Ton milder und weicher zu machen.

Die Löcher in den Kästen und Scheiben sind schief eingebohrt, was zur Folge hat, dass, wenn man Luft in die Kästen eintreibt und eine oder einige Löcherreihen öffnet, der Luftstrom selbst die Scheiben herumtreibt und in immer schnellere und schnellere Bewegung setzt.

Wenn man das Instrument anzublasen beginnt, hört man zuerst die einzelnen Luftstösse, welche puffend hervorbrechen, so oft die Löcher der Scheibe vor denen des Kastens vorbeipassiren. Diese Luftstösse folgen sich immer schneller und schneller, je mehr die Geschwindigkeit der drehenden Scheiben wächst, etwa wie die Dampfstösse einer Locomotive, die sich mit dem Eisenbahnzuge in Bewegung setzt; sie bringen dann zunächst ein Schwirren und Zittern hervor, welches immer hastiger und hastiger wird. Endlich entsteht ein dumpfer dröhnender Ton, der bei immer steigender Geschwindigkeit der Scheiben allmälig an Höhe und Stärke zunimmt.

Nehmen wir an, wir hätten endlich die Scheiben in solche Geschwindigkeit versetzt, dass sie 33 Mal in der Secunde umlaufen, und wir hätten die Reihe mit acht Löchern geöffnet. Bei jeder einzelnen Umdrehung der Scheibe laufen alle acht Löcher dieser Reihe vor jedem einzelnen Loch des Kastens vorbei; also 8 Mal bei jeder einzelnen Umdrehung bricht ein Luftstrom aus dem Kasten hervor, und 8mal 33 oder 264 Luftstösse haben wir in der Secunde; das giebt uns das eingestrichene *c* unserer musikalischen Scala. Oeffnen wir dagegen die Reihe mit 16 Löchern, so haben wir doppelt so viel, nämlich 16mal 33 oder 528 Schwingungen in der Secunde, und wir hören genau die höhere Octave jenes ersten *c'*, nämlich das zweigestrichene *c''*. Oeffnen wir gleichzeitig die beiden Reihen von 8 und von 16 Löchern, so haben wir beide *c* zugleich und können uns überzeugen, dass wir den absolut reinen Zusammenklang einer Octave haben. Nehmen wir 8 und 12 Löcher, die das Verhältniss der Schwingungszahlen 2 zu 3 ergeben, so giebt dieser Zusammenklang eine reine Quinte; 12 und 16, oder 9 und 12 geben Quarten, 12 und 15 geben eine grosse Terz und so weiter.

Nun ist an dem Instrument aber auch noch eine Vorrichtung angebracht, um die Töne des oberen Kastens etwas höher oder niedriger zu machen. Dieser Kasten ist nämlich um seine Axe drehbar und mit einem Zahnrade verbunden, in den der an der Kurbel *d* befestigte Trieb eingreift. Dreht man nun die Kurbel langsam um, während eine Löcherreihe des oberen Kastens angeblasen wird, so wird der Ton etwas höher oder tiefer, je nachdem die Löcher des Kastens denen der Scheibe entgegengehen, oder in gleicher Richtung nachfolgen. Wenn sie entgegengehen, treffen sie schneller mit der nächstfolgenden Oeffnung der Scheibe zusammen, die Schwingungsdauer des Tons wird verkürzt, er wird höher. Das Umgekehrte geschieht, wenn sie nachfolgen.

Bläst man nun unten durch 8, oben durch 16 Löcher, so hat man eine reine Octave, so lange der obere Kasten stillsteht; so wie man ihn bewegt und dadurch die Höhe des oberen Tons etwas verändert, wird die Octave unrein.

Bläst man oben die Reihe von 12, unten die von 18 an, so hat man

Digitized by Google

eine reine Quinte, so lange der obere Kasten stillsteht, so wie man ihn bewegt, wird der Zusammenklang merklich schlechter.

Diese Versuche mit der Sirene lehren uns also:

1. eine Reihe von Luftstössen, die hinreichend schnell auf einander folgen, geben einen Ton.

2. Je schneller sie auf einander folgen, desto höher wird der Ton.

3. Wenn das Verhältniss der Schwingungszahlen genau wie 1 zu 2 ist, so geben sie eine reine Octave; wenn es 2 zu 3 ist, eine reine Quinte, wenn es 3 zu 4 ist, eine reine Quarte u. s. w. Jede kleinste Veränderung dieser Verhältnisse beeinträchtigt die Reinheit der Consonanz.

Aus dem bisher Angeführten ersehen Sie, dass unser Ohr von Erschütterungen der Luft afficirt wird, deren Zahl in der Secunde innerhalb gewisser Gränzen liegt, nämlich zwischen etwa 20 und 32000, und dass in Folge dieser Affection die Empfindung eines Tones entsteht.

Dass diese Empfindung eben eine Tonempfindung ist, beruht nicht auf der besonderen Art jener Lufterschütterungen, sondern nur in der besonderen Empfindungsweise unseres Ohrs und unseres Hörnerven. Ich bemerkte schon vorher, dass wir das Zittern der Luft bei starken Tönen auch mit der Haut fühlen. So können auch Taubstumme die Luftbewegung, welche wir Schall nennen, wahrnehmen; aber sie hören sie nicht, d. h. sie haben dabei keine Tonempfindung im Ohr, sondern sie fühlen sie durch die Hautnerven, und zwar in deren besonderer Empfindungsweise, als Schwirren. Auch die Gränzen der Schwingungsdauer, innerhalb deren das Ohr die Luftzitterung als Schall empfindet, hängen von der Eigenthümlichkeit des Ohres ab.

Wenn die Sirene langsam umläuft und die Luftstösse deshalb langsam erfolgen, hören Sie noch keinen Ton. Wenn sie schneller und schneller läuft, wird dadurch in der Art der Lufterschütterungen nichts Wesentliches geändert; ausserhalb des Ohres kommt dabei nichts Neues hinzu, sondern, was neu hinzukommt, ist nur die Empfindung des Ohres, welches nun erst anfängt von den Lufterschütterungen erregt zu werden, und eben deshalb geben wir den schnelleren Luftzitterungen einen neuen Namen und nennen sie Schall. Wenn Sie Paradoxen lieben, können Sie sagen, die Luftzitterung wird zum Schalle, erst wenn sie das hörende Ohr trifft.

Ich muss Ihnen jetzt weiter die Ausbreitung des Schalls durch den Luftraum beschreiben. Die Bewegung der Luftmasse, wenn ein Ton durch sie hineilt, gehört zu den sogenannten Wellenbewegungen, einer in der Physik sehr wichtigen Classe von Bewe-

Digitized by Google

gungen. Denn ausser dem Schalle ist auch das Licht eine Bewegung derselben Art.

Der Namen ist vom Vergleich mit den Wellen der Oberfläche unserer Gewässer hergeleitet, und wir werden an ihnen auch die Eigenthümlichkeiten einer solchen Bewegung uns am leichtesten anschaulich machen können.

Wenn wir einen Punkt einer ruhenden Wasserfläche in Erschütterung versetzen, z. B. einen Stein hineinwerfen, so pflanzt sich die Bewegung, welche wir hervorgerufen haben, in Form kreisförmig sich verbreitender Wellen über die Oberfläche des Wassers fort. Der Wellenkreis wird immer grösser und grösser, während an dem ursprünglich getroffenen Punkte schon wieder Ruhe hergestellt ist; dabei werden die Wellen immer niedriger, je mehr sie sich von ihrem Mittelpunkte entfernen, und verschwinden allmälig. Wir unterscheiden an einem solchen Wellenzuge hervorragende Theile, die Wellenberge, und eingesenkte, die Wellenthäler.

Einen Wellenberg und ein Thal zusammengenommen nennen wir eine Welle, und deren Länge messen wir vom Gipfel eines Wellenberges bis zum nächsten.

Während die Welle über die Oberfläche der Flüssigkeit hinläuft, bewegen sich nicht etwa die Wassertheilchen, aus denen sie besteht, mit ihr fort. Wir können das leicht erkennen, wenn ein Hälmchen auf dem Wasser schwimmt. Die Wellen, welche es erreichen, heben es und senken es, aber wenn sie vorübergezogen sind, ist das Hälmchen nicht merklich von seiner Stelle gerückt.

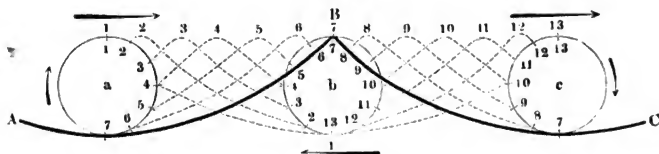
Ein schwimmendes leichtes Körperchen macht aber durchaus nur die Bewegungen mit, welche die benachbarten Wassertheilchen machen. Wir schliessen daraus, dass auch diese nicht der Welle gefolgt, sondern nach einigem Hin- und Herschwanken an ihrem ersten Platze geblieben sind. Was sich also als Welle fortbewegt, sind nicht die Wassertheilchen selbst, sondern es ist nur eine Form der Oberfläche, die sich fort und fort aus neuen Wassertheilchen aufbaut. Die Bahnen der einzelnen Wassertheilchen sind vielmehr in sich geschlossene senkrecht stehende Kreisbahnen, in denen sie fortdauernd mit nahe gleichförmiger Geschwindigkeit umlaufen, so lange Wellen über sie weggehen.

In Fig. 2 bezeichnet die starke Wellenlinie ABC einen Querschnitt der Wasseroberfläche, über welche Wellen hinlaufen, in Richtung der beiden Pfeile über a und c. Die drei Kreise a, b und c bezeichnen die Bahnen gewisser Wassertheilchen der Wellenoberfläche, und zwar befindet sich das im Kreise b umlaufende Theilchen zur Zeit, wo die Wasserfläche die

Digitized by Google

Gestalt *A B C* hat, in *B*, im höchsten Punkte seiner Bahn, die Theilchen, die in den Kreisen *a* und *c* umlaufen, dagegen gleichzeitig in den tiefsten Punkten.

Fig. 2.



Die betreffenden Wassertheilchen laufen in diesen Kreisen in der Richtung um, welche die Pfeile andeuten. Die punktirten Curven bezeichnen andere Lagen der sich fortbewegenden Wellen, welche der Lage *A B C* in gleichen Zwischenzeiten theils vorausgegangen (wie die Gipfel zwischen *a* und *b*), theils nachgefolgt (die Gipfel zwischen *b* und *c*) sind. Die Lagen der Wellenberge selbst sind mit Ziffern versehen; die gleichen Ziffern in den Kreisen zeigen an, wo sich zur Zeit der betreffenden Lage der Welle die in diesen Kreisen umlaufenden Wassertheilchen befanden. Man sieht wie diese in den Kreisen um gleiche Bögen fortrücken, während sich die Wellenberge parallel der Wasserfläche um gleiche Strecken fortbewegen.

Im Kreise *b* sieht man ferner, wie das Wassertheilchen in seinen Lagen 1, 2, 3 den ankommenden Wellenbergen 1, 2, 3 entgegeneilt, und an ihrer Vorderseite aufsteigt, dann von 4 bis 7 von dem Berge in der Richtung seiner Fortbewegung mitgenommen wird, und endlich bei 7 seinen Gipfel erreicht, dann aber hinter diesem zurückbleibt, an seiner Rückseite wieder herabsinkt, und endlich bei 13 seinen ersten Ort wieder erreicht [1]).

Alle Punkte der Wasseroberfläche beschreiben, wie Sie an dieser Zeichnung sehen, gleich grosse Kreise; die Wassertheilchen der Tiefe bewegen sich ebenso, nur dass die Kreisbahnen, in denen sie sich bewegen, nach der Tiefe hin schnell an Grösse abnehmen.

Auf solche Weise entsteht also der Schein einer fortschreitenden Bewegung längs der Oberfläche, während doch die bewegten Massentheilchen selbst sich nicht mit den Wellen fortbewegen, sondern fortdauernd in ihrer engen Kreisbahn umlaufen.

Um nun von den Wasserwellen zu den Schallwellen hinüberzukommen, denken Sie sich statt des Wassers eine zusammendrückbare elastische Flüssigkeit, wie es die Luft ist, und die Wasserwellen durch eine auf die Oberfläche gelegte feste Platte niedergedrückt, so aber, dass die Flüssigkeit dem Druck nirgend seitlich

---

[1]) In der Vorlesung wurde Fig. 2 durch ein bewegliches Modell ersetzt, in welchem die beweglichen und durch Fäden verbundenen Punkte wirklich in Kreisen umliefen, während die verbindenden elastischen Fäden die Wasseroberfläche darstellten.

Digitized by Google

ausweicht. Unter den Wellenbergen, wo am meisten Flüssigkeit sich befindet, wird sie dabei am stärksten verdichtet werden, in den Wellenthälern weniger. Sie bekommen also jetzt statt der Wellenberge verdichtete Luftschichten, statt der Wellenthäler weniger dichte. Nun stellen Sie sich vor, dass diese plattgepressten Wellen sich ebenso fortpflanzen wie vorher, und dass auch die senkrechten Kreisbahnen der einzelnen Wassertheilchen in horizontale gerade Linien zusammengepresst seien. So bleibt denn auch für die Schallwellen die Eigenthümlichkeit bestehen, dass die Lufttheilchen in ihrer geradlinigen Bahn nur hin und her schwanken, während die Welle selbst eine sich fortpflanzende Bewegungsform ist, die sich fortdauernd aus neuen Lufttheilchen zusammensetzt. Damit hätten wir zunächst Schallwellen, die sich von ihrem Mittelpunkte in horizontaler Richtung ausbreiteten.

Aber die Ausbreitung der Schallwellen ist nicht, wie die der Wasserwellen, auf eine horizontale Fläche beschränkt, sondern sie können sich nach allen Richtungen in den Raum hinein ausbreiten. Denken Sie die Kreise, welche ein in das Wasser geworfener Stein erzeugt, nach allen Richtungen des Raumes hin auslaufend, so werden daraus kugelförmige Luftwellen, in denen sich der Schall verbreitet.

Wir können also fortfahren, uns an dem Bilde der Wasserwellen die Eigenthümlichkeiten der Schallbewegung anschaulich zu machen.

Die Länge der Wasserwellen (d. h. von Wellenberg zu Wellenberg gemessen) ist ausserordentlich verschieden, von den kleinen Kräuselungen der Oberfläche an, wie sie ein fallender Tropfen oder ein leichter Windhauch auf der spiegelnden Fläche erregt, bis zu den Wellen, die den Schweif eines Dampfschiffs bilden, und einen Schwimmer oder Kahn schon artig zu schaukeln vermögen, und von diesen wieder bis zu den Wogen des zürnenden Oceans, in deren Thälern Linienschiffe mit der Länge ihres Kiels Platz finden, und deren Berggipfel nur der überschauen kann, der in die Masten emporgestiegen ist. Aehnliche Unterschiede finden wir bei den Schallwellen. Die kleinen Kräuselungen des Wassers von geringer Wellenlänge entsprechen den hohen Tönen, die langen Meereswogen den tiefen. Das Contra-*C* z. B. hat Wellen von 35 Fuss Länge, seine höhere Octave halb so lange, während die höchsten Claviertöne nur 3 Zoll lange Wellen geben.

Sie sehen, dass die Wellenlänge mit der Höhe des Tones zusammenhängt; ich füge hinzu, dass die Höhe der Wellenberge oder,

Digitized by Google

auf die Luft übertragen, die Stärke der abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, der Stärke und Intensität des Tones entspricht. Aber Wellen von gleicher Höhe können noch eine verschiedene Form haben. Die Gipfel ihrer Berge z. B. können abgerundet oder spitz sein. Entsprechende Verschiedenheiten können auch bei Schallwellen von gleicher Tonhöhe und Stärke vorkommen, und zwar ist es die Klangfarbe, was der Form der Wasserwellen entspricht. Man überträgt den Begriff der Form von den Wasserwellen auch auf die Schallwellen.

Denken Sie sich Wasserwellen verschiedener Form plattgedrückt, so wird zwar nun die geebnete Oberfläche keine Formverschiedenheit mehr zeigen, aber im Inneren der Wassermasse werden wir verschiedene Arten von Vertheilung des Drucks und der Dichtigkeit haben, die den Formverschiedenheiten der ungepressten Oberfläche entsprechen.

In diesem Sinne können wir also auch von einer Form der Schallwellen sprechen und sie darstellen. Wir lassen die Curve sich heben, wo der Druck wächst, sich senken, wo er abnimmt; gleichsam als hätten wir unterhalb der Curve eine zusammengepresste Flüssigkeit, die sich bis zur Höhe der Curve ausdehnen müsste, um ihre natürliche Dichtigkeit zu erreichen.

Bisher können wir leider erst in sehr wenigen Fällen Rechenschaft von der Form der Schallwellen geben, die den Klangfarben verschiedener tönender Körper entsprechen.

Unter den Formen von Schallwellen, die wir genauer bestimmen können, ist eine von grosser Wichtigkeit, welche wir die einfache oder reine Wellenform nennen können, dargestellt in Fig. 3.

Fig. 3.



Man sieht sie bei Wasserwellen nur, wenn sie zu ihrer Länge verhältnissmässig niedrig sind, und über eine spiegelnde Wasserfläche ohne störende äussere Einflüsse, und ohne vom Winde gebläht zu sein, ablaufen. Berg und Thal sind sanft abgerundet, gleich breit und symmetrisch, so dass die Berge, wenn man sie umgekehrt in die Thäler legte, gerade hinein passen würden. Bestimmter zu charakterisiren wäre diese Wellenform dadurch, dass die Wassertheilchen in genau kreisförmigen Bahnen von geringem Durchmesser mit genau gleichförmiger Geschwindigkeit umlaufen. Die-

Digitized by Google

ser einfachen Wellenform entspricht eine Art von Tönen, die wir aus nachher anzuführenden Gründen in Bezug auf ihre Klangfarbe **einfache** Töne nennen wollen. Solche Töne erhalten wir, indem wir eine angeschlagene Stimmgabel vor die Mündung einer gleich gestimmten Resonanzröhre halten. Auch scheint der Ton klangvoller menschlicher Stimmen, welche in ihren mittleren Lagen den Vocal *U* singen, sich nicht sehr weit von dieser Wellenform zu entfernen.

Ausserdem kennt man die Bewegungsgesetze der Saiten genau genug, um in einigen Fällen die Bewegungsform bestimmen zu können, die sie der Luft mittheilen. So stellt zum Beispiel Fig. 4 die Formen dar, welche eine mit einem spitzen Stift gerissene Saite, wie die einer Zither, nach einander annimmt. *Aa* stellt die Form der Saite dar, welche sie in dem Moment des Anschlags annimmt, dann folgen nach gleichen Zwischenzeiten die Formen *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, dann wieder rückwärts *F*, *E*, *D*, *C*, *B*, *A*, und so fort sich immer wiederholend. Die Bewegungsform, welche von einer solchen Saite mittels des Resonanzbodens an die Luft übertragen wird, entspricht etwa der in Fig. 5 dargestellten gebrochenen Linie, wobei *hh* der Gleichgewichtslage entspricht, und die Buchstaben *abcdefg* die Stellen der Wellenlinie bezeichnen, die durch die Wirkung der einzelnen in Fig. 4 durch entsprechende grosse Buchstaben bezeichneten Saitenformen hervorgebracht werden. Man sieht leicht,

Fig. 4.*

Fig. 5.



Digitized by Google

wie, auch abgesehen von der Grösse, die Form dieser Wellen (die auf einer Wasserfläche allerdings nicht würden vorkommen können) abweicht von der der Fig. 3, indem die Saite nur eine Reihe kurzer, und abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten gerichteter Stösse auf die Luft überträgt [1]).

Die Luftwellen, welche durch den Ton einer Violine hervorgebracht werden, würden bei entsprechender Darstellungsweise durch die Curve Fig. 6 darzustellen sein. Während jeder Schwingungsperiode wächst der Druck gleichmässig, und fällt am Ende derselben plötzlich wieder auf sein Minimum.

Fig. 6.



Solchen Verschiedenheiten der Tonwellenform entspricht also die Verschiedenheit der Klangfarbe; ja wir können den Vergleich noch weiter treiben. Je gleichmässiger gerundet die Wellenform ist, desto weicher und milder die Klangfarbe; je abgerissener und eckiger die Wellenform, desto schärfer der Klang. Die Stimmgabeln mit ihrer rundlichen Wellenform Fig. 3 haben einen ausserordentlich weichen Klang, der Klang der Zither und Violine zeigt ähnliche Schärfe wie ihre Wellenformen Fig. 5 und 6.

Endlich möchte ich nun Ihre Aufmerksamkeit noch einem lehrreichen Schauspiel zulenken, was ich nie ohne ein gewisses physikalisches Vergnügen gesehen habe, weil es dem körperlichen Auge auf der Wasserfläche anschaulich macht, was sonst nur das geistige Auge des mathematischen Denkers in der von Schallwellen durchkreuzten Luft erkennen kann. Ich meine das Uebereinanderliegen von vielen verschiedenen Wellensystemen, deren jedes einzelne seinen Weg ungestört fortsetzt. Wir können es von jeder Brücke aus auf der Oberfläche unserer Flüsse sehen, am erhabensten und reichsten aber, wenn wir auf einem hohen Punkte am Meeresufer stehen.

Oft habe ich an den steilen, waldreichen Küsten des Samlandes, wo uns Bewohnern Ostpreussens das Meer die Stelle der Alpen vertrat, Stunden mit seiner Betrachtung verbracht.

[1]) Es ist hierbei angenommen, dass der Resonanzboden und die ihn berührende Luft dem Zuge, der das Ende der Saite ausübt, unmittelbar folgen, ohne eine merkliche Rückwirkung auf die Bewegung der Saite auszuüben.

Digitized by Google

Selten fehlt es dort an verschieden langen, nach verschiedener Richtung sich fortpflanzenden Wellensystemen in unabsehbarer Zahl. Die längsten pflegen vom hohen Meer gegen das Ufer zu laufen, kürzere entstehen, wo die grösseren brandend zerschellen, und laufen wieder hinaus in das Meer. Vielleicht stösst noch ein Raubvogel nach einem Fische und erregt ein System von Kreiswellen, die, über die anderen hin auf der wogenden Fläche schaukelnd, sich so regelmässig erweitern, wie auf dem stillen Spiegel eines Landsees. So entfaltet sich vor dem Beschauer von dem fernen Horizonte her, wo zuerst aus der stahlblauen Fläche weisse Schaumlinien auftauchend die herankommenden Wellenzüge verrathen, bis zu dem Strande unter seinen Füssen, wo sie ihre Bogen auf den Sand zeichnen, ein erhabenes Bild unermesslicher Kraft und immer wechselnder Mannigfaltigkeit, die nicht verwirrt, sondern den Geist fesselt und erhebt, da das Auge leicht Ordnung und Gesetz darin erkennt.

Ebenso müssen Sie sich nun die Luft eines Concert- oder Tanzsaales von einem bunten Gewimmel gekreuzter Wellensysteme nicht blos in der Fläche, sondern nach allen ihren Dimensionen durchschnitten denken. Von dem Mund der Männer gehen weitgedehnte 6- bis 12füssige Wellen aus, kürzere $1\frac{1}{2}$- bis 3füssige von den Lippen der Frauen. Das Knistern der Kleider erregt kleine Kräuselungen der Luft, jeder Ton des Orchesters entsendet seine Wellen, und alle diese Systeme verbreiten sich kugelförmig von ihrem Ursprungsorte, schiessen durcheinander, werden von den Wänden des Saales reflectirt, und laufen so hin und wieder, bis sie endlich, von neu entstandenen übertönt, erlöschen.

Wenn dieses Schauspiel nun auch dem körperlichen Auge verhüllt bleibt, so kommt uns ein anderes Organ zu Hülfe, um uns Kunde davon zu geben, nämlich das Ohr. Es zerlegt das Durcheinander der Wellen, welches in einem solchen Falle viel verwirrender sein würde als die Durchkreuzung der Meereswogen, wieder in die einzelnen Töne, die es zusammensetzen, es unterscheidet die Stimmen der Männer und Frauen, ja der einzelnen Individuen, die Klänge der verschiedenen musikalischen Instrumente, das Rauschen der Kleider, die Fusstritte und so weiter.

Wir müssen näher erörtern, was dabei geschieht. Wenn, wie wir vorher annahmen, auf die wogende Meeresfläche ein Raubvogel stösst, so entstehen Wellenringe, die sich auf der bewegten Fläche langsam und regelmässig ausbreiten, wie auf der ruhenden. Diese Ringe werden in die gekrümmte Oberfläche der Wogen

Digitized by Google

genau ebenso hineingeschnitten, wie sonst in die ebene des ruhenden Wasserspiegels. Die Form der Wasseroberfläche wird in diesen wie in anderen verwickelteren Fällen dadurch bestimmt, dass die Höhe jedes Punktes gleich wird der Höhe sämmtlicher in diesem Augenblicke dort zusammentreffender Wellenberge zusammengenommen, wovon abzuziehen ist die Summe aller dort gleichzeitig hintreffenden Wellenthäler. Man nennt eine solche Summe positiver Grössen (der Wellenberge) und negativer (der Wellenthäler), welche letzteren, statt sich zu summiren, abzuziehen sind, eine algebraische Summe, und kann in diesem Sinne sagen: die Höhe jedes Punktes der Wasserfläche wird gleich der algebraischen Summe aller Wellentheile, die gleichzeitig dort zusammentreffen.

Bei den Schallwellen ist es nun ähnlich. Auch sie summiren sich an jeder Stelle des Luftraumes, sowie am Ohr des Hörenden. Auch bei ihnen wird die Verdichtung und die Geschwindigkeit der Lufttheilchen im Gehörgange gleich der algebraischen Summe der einzelnen Werthe der Verdichtung und Geschwindigkeit, welche den Schallwellenzügen, einzeln genommen, zukommen. Diese eine Bewegung der Luft, welche durch das Zusammenwirken verschiedener tönender Körper entsteht, muss nun das Ohr wieder in Theile zerlegen, welche den Einzelwirkungen entsprechen. Dabei befindet es sich unter viel ungünstigeren Bedingungen, als das Auge, welches die ganze wogende Fläche auf einmal überschaut, während das Ohr natürlich nur die Bewegung der ihm zunächst benachbarten Lufttheilchen wahrnehmen kann. Und doch löst das Ohr jene Aufgabe mit der grössten Genauigkeit, Sicherheit und Bestimmtheit. Es muss also die Fähigkeiten haben, alle die einzelnen zusammenwirkenden Töne aus der Bewegung eines einzigen Punktes im Luftraum herauszufinden.

Für die Erklärung dieser wichtigen Fähigkeit des Ohres scheinen neuere anatomische Entdeckungen eine Aussicht zu gewähren.

Sie werden Alle schon an musikalischen Instrumenten, namentlich an Saiten, das Phänomen des Mittönens wahrgenommen haben. Die Saite eines Pianoforte z. B., deren Dämpfer man aufgehoben hat, geräth in Schwingung, sobald in der Nähe und stark genug ihr eigener Ton angegeben wird. Hört der erregende Ton auf, so hört man denselben Ton noch auf der Saite eine Weile nachklingen. Legt man Papierschnitzelchen auf die Saite, so werden sie abgeworfen, so wie ihr Ton angegeben wird. Das Mittönen

Digitized by Google

der Saite beruht darauf, dass die schwingenden Luftheilchen gegen die Saite und ihren Resonanzboden stossen.

Jeder einzelne Wellenberg der Luft, der an der Saite vorbeigeht, wirkt allerdings zu schwach, um eine merkliche Bewegung der Saite hervorzubringen. Wenn aber eine lange Reihe von Wellenbergen so auf die Saite stossen, dass jeder folgende die kleine Erschütterung vermehrt, welche die vorigen zurückgelassen haben, so wird die Wirkung endlich merklich. Es ist ein Vorgang derselben Art, wie bei einer Glocke von ungeheurem Metallgewicht, die sich unter dem Stosse des kräftigsten Mannes kaum merklich bewegt, während ein Knabe sie allmälig in die gewaltigsten Schwingungen setzen kann, indem er taktmässig in demselben Rhythmus, wie die Glocke ihre Pendelschwingungen vollführt, an dem Stricke zieht.

Diese eigenthümliche Verstärkung der Schwingungen hängt hierbei ganz wesentlich von dem Rhythmus ab, in welchem der Zug ausgeübt wird. Wenn die Glocke einmal in Pendelschwingungen von mässiger Breite versetzt worden ist, und der Knabe am Seile immer gerade in der Zeit zieht, wo das Seil sich senkt, und wo sein Zug der schon vorhandenen Bewegung der Glocke gleichgerichtet ist, so wird jeder solcher Zug diese Bewegung, wenn auch nur wenig, verstärken; dadurch wird sie aber allmälig zu einer beträchtlichen Grösse anwachsen.

Wollte der Knabe in unregelmässigen Zwischenzeiten seine Kraft anwenden, bald so, dass er die Bewegung der Glocke dadurch verstärkt, bald so, dass er ihr entgegen arbeitet, so würde er keinen erheblichen Erfolg hervorbringen.

Wie der Knabe die Glocke, so können auch die Zitterungen der leichten und leicht beweglichen Luft die schwere und feste Stahlmasse einer Stimmgabel in Bewegung setzen, wenn der Ton, der in der Luft erregt ist, genau im Einklange mit dem der Gabel ist, weil auch in diesem Falle jeder Anprall einer Luftwelle gegen die Gabel die von den vorausgehenden Stössen ähnlicher Art erregte Bewegung verstärkt.

Am besten benutzt man eine Gabel, wie Fig. 7 (a. f. S.), die auf einem Resonanzboden befestigt ist, und erregt den Ton in der Luft durch eine zweite Gabel ähnlicher Art von genau gleicher Stimmung. Schlägt man die eine an, so findet man nach wenigen Secunden auch die zweite tönend. Dämpft man jetzt den Ton der ersten, indem man ihre Zinken einen Augenblick lang mit dem

Digitized by Google

Finger berührt, so unterhält die zweite den Ton. Nun bringt aber die zweite wiederum die erste in Mitschwingung und so fort.

Fig. 7.



Klebt man aber nur ein wenig Wachs auf die Enden der einen Gabel, wodurch ihre Tonhöhe für das Ohr kaum merklich von der der anderen Gabel abweichend gemacht wird, so hört das Mitschwingen der zweiten Gabel auf, weil dann die Schwingungszeiten nicht mehr gleich sind, und deshalb die Stösse, welche die von der einen Gabel erregten Luftschwingungen auf den Resonanzboden der anderen hervorbringen, wenn sie auch eine Zeit lang den Bewegungen dieser zweiten Gabel gleichsinnig sind und sie deshalb verstärken, doch nach kurzer Zeit aufhören es zu sein, und die vorher gemachte Wirkung wieder zerstören.

Bei leichteren und beweglicheren tonfähigen Körpern, zum Beispiel bei Saiten, wird nun schon eine geringere Zahl von Luftstössen hinreichen, sie in Bewegung zu setzen, und solche werden deshalb viel leichter als Stimmgabeln und auch bei einem weniger genauen Einklange des erregenden Tones mit ihrem eigenen Tone in Mitschwingen versetzt.

Wenn nun neben einem Clavier mehrere Töne gleichzeitig angegeben werden, kann eine jede einzelne Saite immer nur dann mitschwingen, wenn darunter ihr eigener Ton ist. Denken Sie sich den ganzen Dämpfer des Claviers gehoben und auf alle Saiten Papierschnitzel gelegt, welche abfliegen, so wie die Saite erschüttert wird, denken Sie sich dann in der Nähe mehrere menschliche Stimmen oder Instrumente ertönend, so werden von allen den und nur von den Saiten die Schnitzel abfliegen, deren Ton angegeben wird. Sie sehen, dass also auch das Clavier das Wellengewirr der Luft in seine einzelnen Bestandtheile auflöst.

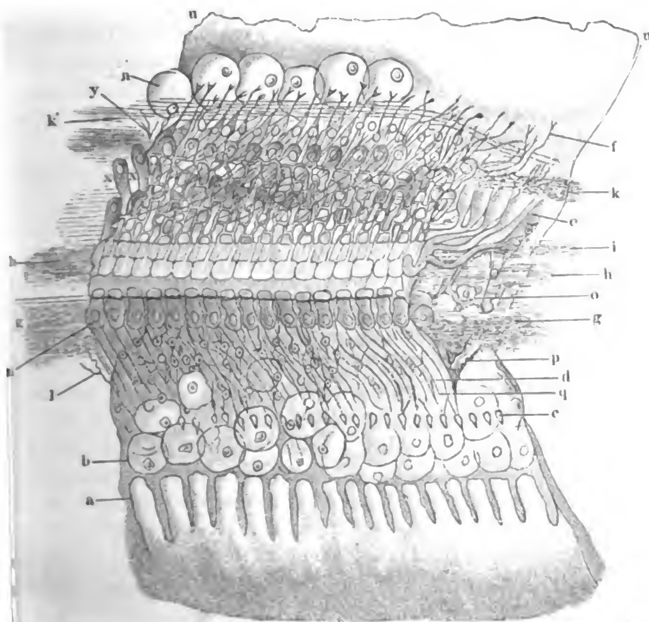
Was in unserem Ohr in demselben Falle geschieht, ist vielleicht dem eben beschriebenen Vorgange im Claviere sehr ähnlich.

Digitized by Google

In der Tiefe des Felsenbeins, in welches hinein unser inneres Ohr ausgehöhlt ist, findet sich nämlich ein besonderes Organ, die Schnecke, so genannt, weil es eine mit Wasser gefüllte Höhlung bildet, die der inneren Höhlung des Gehäuses unserer gewöhnlichen Weinbergschnecke durchaus ähnlich ist. Nur ist dieser Gang der Schnecke unseres Ohres seiner ganzen Länge nach durch zwei in der Mitte seiner Höhe ausgespannte Membranen in drei Abtheilungen, eine obere, eine mittlere und untere, geschieden. In der mittleren Abtheilung sind durch den Marchese Corti sehr merkwürdige Bildungen entdeckt, unzählige, mikroskopisch kleine Plättchen, welche wie die Tasten eines Claviers regelmässig neben einander liegen, an ihrem einen Ende mit den Fasern des Hörnerven in Verbindung stehen, am anderen der ausgespannten Membran anhängen.

Fig. 8 zeigt von einem Theil der Schneckenscheidewand diese ausserordentlich verwickelten Einrichtungen. Die Bögen, welche bei *d* die Membran verlassen, bei *e* sich wieder an sie festsetzen und zwischen *m* und *o* ihre grösste Höhe erreichen, sind wahr-

Fig. 8.



Digitized by Google

scheinlich die schwingungsfähigen Gebilde. Sie sind umsponnen von unzähligen Fäserchen, unter denen Nervenfasern erkennbar sind, die durch die Löcher bei *c* an sie herantreten. Auch die querlaufenden Fasern bei *g*, *h*, *i*, *k*, die Zellen bei *o* scheinen dem Nervensystem anzugehören.

Solche Bögen *de* liegen etwa 3000 auf der ganzen Länge der Schneckenscheidewand wie die Tasten eines Claviers regelmässig neben einander.

Neuerdings sind nun auch in dem anderen Theile des Gehörorgans, dem sogenannten Vorhofe, wo die Nerven sich auf häutigen Säckchen verbreiten, die im Wasser schwimmen, elastische Anhängsel der Nervenenden entdeckt worden, welche die Form steifer Härchen haben. Darüber, dass diese Gebilde durch die zum Ohr geleiteten Schallerschütterungen in Mitschwingung versetzt werden, lässt ihre anatomische Anordnung kaum einen Zweifel. Stellen wir weiter die Vermuthung auf, die freilich vorläufig nur Vermuthung bleibt, mir aber bei genauer Ueberlegung der physikalischen Leistungen des Ohres sehr wahrscheinlich erscheint, dass jedes solches Anhängselchen, ähnlich den Saiten des Claviers, auf einen Ton abgestimmt ist, so sehen Sie nach dem Beispiel des Claviers ein, dass nur, wenn dieser Ton erklingt, das betreffende Gebilde schwingen und die zugehörige Nervenfaser empfinden kann, und dass die Gegenwart eines jeden einzelnen solchen Tones in einem Tongewirr auch stets durch die entsprechende Empfindung angezeigt werden muss.

Das Ohr kann also, der Erfahrung nach, zusammengesetzte Luftbewegungen in ihre Theile zerlegen.

Unter zusammengesetzten Luftbewegungen haben wir bisher solche verstanden, die durch Zusammenwirkung mehrerer gleichzeitig tönender Körper entstanden waren. Da nun die Form der Tonwellen der verschiedenen musikalischen Instrumente verschieden ist, so wird es vorkommen können, dass die Schwingungsart der Luft im Gehörgange, die ein solcher Ton erregt, genau gleich ist der Schwingungsart, welche in einem anderen Falle von zwei oder mehreren anderen zusammenwirkenden Instrumenten im Gehörgange erzeugt wird. Wenn das Ohr im letzteren Falle die Bewegung in einzelne Theile zerlegt, wird es nicht wohl umhin können, dasselbe auch im ersteren Falle zu thun, wo der Ton nur aus einer Tonquelle herstammt. Und in der That geschieht dies.

Ich erwähnte vorher der Wellenform mit sanft abgerundeten Thälern und Bergen, welche ich die einfache oder reine nannte.

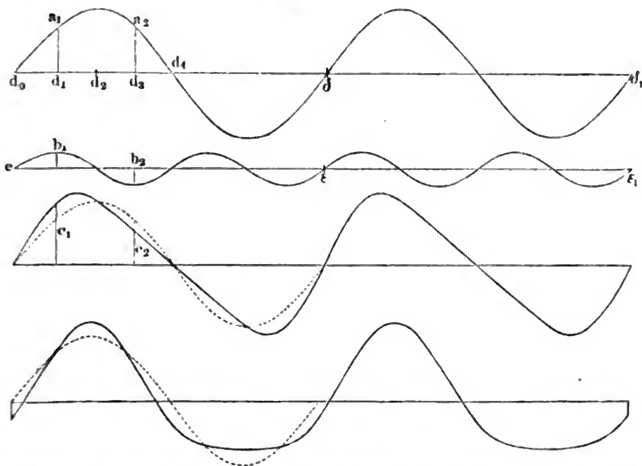
Digitized by Google

In Bezug auf diese hat der französische Mathematiker Fourier einen berühmten und wichtigen Satz erwiesen, den man aus der mathematischen Sprache ins Deutsche ungefähr so übersetzen kann: **Jede beliebige Wellenform kann aus einer Anzahl einfacher Wellen von verschiedener Länge zusammengesetzt werden.** Die längste dieser einfachen Wellen hat dieselbe Länge wie die gegebene Wellenform, die anderen die halbe, drittel, viertel u. s. w. dieser Länge.

Man kann durch das verschiedene Zusammentreffen der Thäler und Berge dieser einfachen Wellen eine unendliche Mannigfaltigkeit der Formen hervorbringen.

So stellen zum Beispiel die Wellencurven *A* und *B*, Fig. 9, Wellen einfacher Töne vor, von denen *B* in gleicher Zeit doppelt so viel Schwingungen ausführt als *A*, also der höheren Octave von *A* entspricht. Dagegen stellen *C* und *D* Wellen dar, die durch Uebereinanderlagerung von *A* und *B* entstehen. Die punktirte Curve im Anfange beider Figuren ist eine Wiederholung des Anfangs von *A*. In *C* ist *e*, der Anfang der Curve *B*, auf den Anfang von *A* gelegt, in *D* dagegen das erste Thal b_2 der Curve *B* auf den Anfang von *A*. Dadurch entstehen nun zwei verschiedene zusammengesetzte Curven, von denen die obere steil ansteigende und flacher abfallende Berge hat, deren Gipfel, umgekehrt, gerade in die Thäler passen würden, während *D* spitze Berge und flache Thäler hat, die aber nach vorn und hinten symmetrisch abfallen.

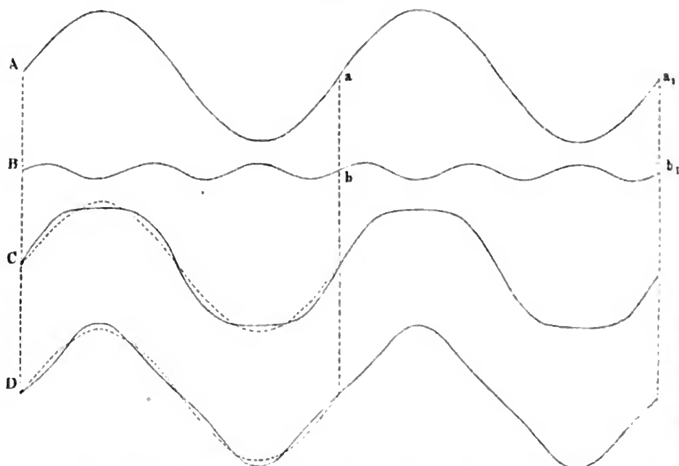
Fig. 9.



Noch andere Formen zeigt Fig. 10 (a. f. S.), auch aus je zwei einfachen Wellen *A* und *B* zusammengesetzt, wobei aber *B* in gleicher Zeit drei Mal

soviel Schwingungen macht als A, also der Duodecime von A entspricht. In C und D sind die punktirten Curven auch Wiederholungen von A. C hat flache Gipfel und flache Thäler, D spitze Gipfel und spitze Thäler.

Fig. 10.



Diese einfachsten Beispiele mögen genügen, um eine Vorstellung von der Mannigfaltigkeit der Formen zu geben, die durch solche Zusammensetzung hergestellt werden können. Wenn man nun nicht zwei, sondern viele einfache Wellen nimmt, und deren Höhe und Anfangspunkt beliebig verändert, so kann man zahllose Abänderungen erzielen, und in der That jede beliebige Form von Wellen herstellen [1]).

Wenn sich verschiedene einfache Wellen auf der Wasserfläche zusammensetzen, so bleibt freilich die zusammengesetzte Wellenform nur einen Augenblick bestehen, weil die längeren Wellen schneller forteilen als die kürzeren, sie trennen sich also gleich wieder, und das Auge erhält Gelegenheit zu erkennen, dass mehrere Wellenzüge vorhanden sind. Wenn aber Schallwellen in ähnlicher Weise zusammengesetzt sind, so trennen sie sich nicht, weil durch den Luftraum lange und kurze Wellen mit gleicher Geschwindigkeit sich fortpflanzen; sondern die zusammengesetzte Welle bleibt, indem sie fortgeht, so wie sie ist, und wo sie das

---

[1]) Ueberhängende Theile dürfen die Wellen freilich hierbei nicht haben, solche würden aber auch keine mögliche Bedeutung in den Schallwellen finden.

Digitized by Google

Ohr trifft, kann ihr Niemand ansehen, ob sie ursprünglich in dieser Form aus einem musikalischen Instrumente hervorgegangen ist, oder ob sie sich unterwegs aus zwei oder mehreren Wellenzügen zusammensetzte.

Was thut nun das Ohr, löst es sie auf, oder fasst es sie als Ganzes? — Die Antwort darauf kann nach dem Sinne der Frage verschieden ausfallen, denn wir müssen hier Zweierlei unterscheiden, nämlich erstens die **Empfindung** im Hörnerven, wie sie sich ohne Einmischung geistiger Thätigkeit entwickelt, und die **Vorstellung**, welche wir in Folge dieser Empfindung uns bilden. Wir müssen also gleichsam unterscheiden das leibliche Ohr des Körpers, und das geistige Ohr des Vorstellungsvermögens. Das leibliche Ohr thut immer genau dasselbe, was der Mathematiker vermittelst des **Fourier**'schen Satzes thut, und was das Clavier mit einer zusammengesetzten Tonmasse thut, es löst die Wellenformen, welche nicht schon ursprünglich, wie die Stimmgabeltöne, der einfachen Wellenform entsprechen, in eine Summe von einfachen Wellen auf, und empfindet den einer jeden einfachen Welle zugehörigen Ton einzeln, mag nun die Welle ursprünglich so aus der Tonquelle hervorgegangen sein, oder sich erst unterwegs zusammengesetzt haben.

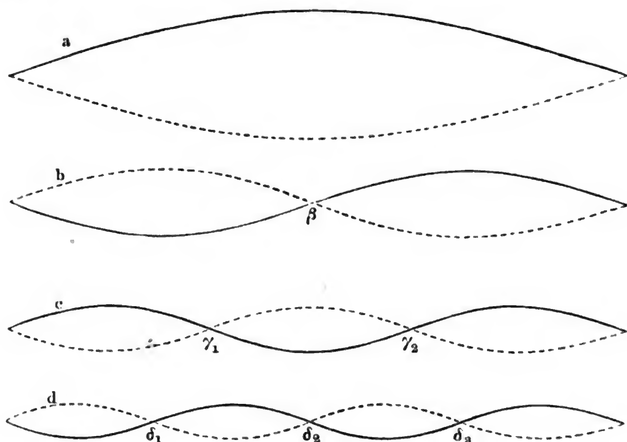
Schlagen wir zum Beispiel eine Saite an, so giebt eine solche, wie wir schon gesehen haben, einen Klang, dessen Wellenform weit abweicht von der eines einfachen Tones. Indem das Ohr diese Wellenform zerlegt in eine Summe einfacher Wellen, hört es zugleich eine Reihe einfacher Töne, die diesen Wellen entsprechen.

Die Saiten bieten ein besonders günstiges Beispiel für eine solche Untersuchung, weil sie selbst während ihrer Bewegung sehr verschiedene Formen annehmen können, die, wie die Wellenformen der Luft, aus einfachen Wellen zusammengesetzt angesehen werden können. Für die Bewegung einer mit einem Stäbchen angeschlagenen Saite sind die auf einander folgenden Formen schon oben in Fig. 4 dargestellt worden. Eine Anzahl von anderen Schwingungsformen einer Saite, welche einfachen Tönen entsprechen, zeigt Fig. 11 (a. f. S.); die ausgezogene Linie bezeichnet die weiteste Ausbiegung der Saite nach der einen, die gestrichelte Linie nach der anderen Richtung hin. Bei *a* giebt die Saite ihren Grundton, den tiefsten einfachen Ton, den sie geben kann, sie schwingt in ganzer Länge bald nach der einen, bald nach der anderen Seite hin. Bei *b* zerfällt sie in zwei schwingende Abtheilungen, zwischen denen ein ruhender, sogenannter Knotenpunkt *β* bleibt, der Ton ist dann die höhere Octave des Grundtons, wie ihn auch jede ihrer beiden Abtheilungen für sich geben würde, und macht doppelt soviel Schwingungen als der Grundton. Bei *c* haben wir zwei Knotenpunkte, drei schwingende Abtheilungen und dreimal soviel Schwingungen als beim Grundton, also die Duodecime von diesem; bei *d* vier Abtheilungen

Digitized by Google

und viermal soviel Schwingungen, die zweite höhere Octave des Grundtons.

Fig. 11.



Ebenso können nun auch noch Schwingungsformen mit 5, 6, 7 u. s. w. schwingenden Abtheilungen vorkommen, deren Schwingungszahl im Verhältniss dieser Zahlen grösser ist als die des Grundtons, und alle anderen Schwingungsformen der Saite können betrachtet werden als zusammengesetzt aus einer Summe solcher einfachen Schwingungen.

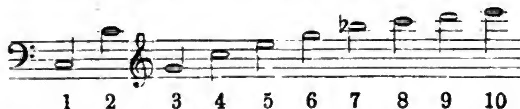
Die mit Knotenpunkten versehenen Schwingungsformen der Saite kann man hervorbringen, wenn man die Saite in einem der betreffenden Knotenpunkte leise mit dem Finger oder einem Stäbchen berührt, während man sie zum Tönen bringt, sei es mit dem Bogen oder durch Reissen mit dem Finger oder durch Anschlag mit einem Clavierhammer. Es giebt dies die sogenannten Flageolettöne der Saiten, wie sie von Violinspielern vielfach gebraucht werden.

Wenn man nun eine Saite irgendwie zum Tönen gebracht hat, und sie dann einen Augenblick leicht mit dem Finger bei β Fig. 11 *b* in ihrem Mittelpunkte berührt, so werden die Schwingungsformen *a* und *c* durch diese Berührung gehindert und gedämpft, die Schwingungsformen *b* und *d* aber, bei denen der Punkt β ruht, werden durch die Berührung nicht gehemmt, sondern fahren fort zu tönen. So kann man leicht erkennen, ob gewisse Glieder aus der Reihe der einfachen Töne einer Saite bei einer gegebenen Anschlagsweise in ihrem Klange enthalten sind, und kann sie dem Ohre einzeln hörbar machen.

Hat man diese einfachen Töne aus dem Klange der Saite sich in solcher Weise einzeln hörbar gemacht, so gelingt es bei genauer Aufmerksamkeit auch bald, sie in dem unveränderten Klange der ganzen Saite zu unterscheiden.

Digitized by Google

Die Reihe der Töne, welche sich hierbei zu einem gegebenen Grundton gesellen, ist übrigens eine ganz bestimmte; es sind die Töne, welche zwei, drei, vier u. s. w. Mal so viele Schwingungen machen als der Grundton. Man nennt sie die **harmonischen Obertöne** des Grundtons. Nennen wir den letzteren *c*, so wird ihre Reihe in Notenschrift, wie folgt, gegeben.



Sowie die Saiten, geben nun auch fast alle anderen musikalischen Instrumente Tonwellen, die nicht genau der reinen Wellenform entsprechen, sondern aus einer grösseren oder geringeren Zahl einfacher Wellen zusammenzusetzen sind. Das Ohr analysirt sie alle nach dem Fourier'schen Satze, trotz dem besten Mathematiker, und hört bei gehöriger Aufmerksamkeit die den einzelnen einfachen Wellen entsprechenden Obertöne heraus. Es entspricht dies übrigens ganz unserer Annahme über das Mitschwingen der Corti'schen Organe. Es lehrt nämlich sowohl die Erfahrung am Claviere, als auch die mathematische Theorie für alle mittönenden Körper, dass nicht bloss der Grundton, sondern ebenso die vorhandenen Obertöne des erregenden Tones das Mitschwingen bewirken. Es folgt daraus, dass auch in der Schnecke des Ohres jeder äussere Ton, nicht bloss das seinem Grundton entsprechende Plättchen in Mitschwingung setzen, und die zugehörigen Nervenfasern erregen wird, sondern auch die den Obertönen entsprechenden, so dass letztere ebenso gut empfunden werden müssen als der Grundton.

Danach ist ein einfacher Ton nur ein solcher, der durch einen Wellenzug von der reinen Wellenform erregt wird. Alle anderen Wellenformen, wie sie von den meisten musikalischen Instrumenten hervorgebracht werden, erregen mehrfache Tonempfindungen.

Daraus folgt, dass streng genommen für die Empfindung alle Töne der musikalischen Instrumente als Accorde mit vorwiegendem Grundton zu betrachten sind.

Diese ganze Lehre von den Obertönen wird Ihnen vielleicht neu und seltsam vorkommen. Die Wenigsten unter Ihnen, so oft Sie auch Musik gehört oder selbst gemacht haben, und eines so guten musikalischen Gehörs Sie sich auch erfreuen, werden dergleichen Töne schon wahrgenommen haben, die nach meiner Darstellung fortdauernd und immer vorhanden sein sollen. Es ist in der That immer ein besonderer Act der Aufmerksamkeit noth-

Digitized by Google

wendig, um sie zu hören, sonst bleiben sie verborgen. Alle unsere sinnlichen Wahrnehmungen sind nämlich nicht bloss Empfindungen der Nervenapparate, sondern es gehört noch eine eigenthümliche Thätigkeit der Seele dazu, um von der Empfindung des Nerven aus zu der Vorstellung von einem äusseren Objecte zu gelangen, was die Empfindung erregt hat. Die Empfindungen unserer Sinnesnerven sind uns Zeichen für gewisse äussere Objecte, und wir lernen grossen Theils erst durch Einübung die richtigen Schlüsse von den Empfindungen auf die entsprechenden Objecte ziehen. Nun ist es ein allgemeines Gesetz aller unserer Sinneswahrnehmungen, dass wir nur so weit auf unsere Sinnesempfindungen achten, als sie uns dazu dienen können, die äusseren Objecte zu erkennen; wir sind in dieser Beziehung alle höchst einseitige und rücksichtslose Anhänger des praktischen Nutzens, mehr als wir vermuthen. Alle Empfindungen, welche nicht directen Bezug auf äussere Objecte haben, pflegen wir im gewöhnlichen Gebrauche der Sinne vollständig zu ignoriren, und erst bei der wissenschaftlichen Untersuchung der Sinnesthätigkeit werden wir darauf aufmerksam, oder auch bei Krankheiten, wo wir unsere Aufmerksamkeit mehr auf die Erscheinungen unseres Leibes richten. Wie oft bemerken Patienten erst, wenn sie von einer leichten Augenentzündung befallen sind, dass ihnen Körnchen und Fäserchen, sogenannte fliegende Mücken, im Auge herumschwimmen, und machen sich die hypochondrischesten Gedanken darüber, weil sie sie für neu halten, während sie sie doch meistens schon während ihres ganzen Lebens vor den Augen gehabt haben.

Wer bemerkt so leicht, dass im Gesichtsfelde jedes gesunden Auges eine Stelle vorkommt, wo man gar nichts sieht, der sogenannte blinde Fleck? Wie viele Leute wissen davon, dass sie fortdauernd nur die Gegenstände, welche sie fixiren, einfach sehen, alles was dahinter oder davor liegt, doppelt? Ich könnte Ihnen eine lange Reihe solcher Beispiele aufführen, welche erst durch die wissenschaftliche Untersuchung der Sinnesthätigkeiten zu Tage gekommen sind, und hartnäckig verborgen bleiben, bis man durch geeignete Mittel die Aufmerksamkeit auf sie lenkt, was oft ein recht schwieriges Geschäft ist.

In dieselbe Classe von Erscheinungen gehören die Obertöne. Es ist nicht genug, dass der Hörnerv den Ton empfindet, die Seele muss auch noch darauf reflectiren; ich unterschied deshalb vorher das leibliche und geistige Ohr.

Wir hören den Ton einer Saite immer von einer gewissen

Digitized by Google

Combination von Obertönen begleitet. Eine andere Combination solcher Töne gehört zum Ton der Flöte, oder der menschlichen Stimme, oder dem Heulen eines Hundes. Ob eine Violine oder Flöte, ob ein Mensch oder Hund in der Nähe sei, interessirt uns zu wissen, und unser Ohr übt sich die Eigenthümlichkeiten dieser Töne genau zu unterscheiden. Durch welche Mittel wir sie aber unterscheiden, ist uns gleichgültig.

Ob die Stimme des Hundes die höhere Octave oder Duodecime des Grundtons enthält, ist ohne praktisches Interesse, und kein Object für unsere Aufmerksamkeit. So gehen uns denn die Obertöne mit in die weiter nicht näher zu bezeichnenden Eigenthümlichkeiten des Tones auf, die wir Klangfarbe nennen. Da die Existenz der Obertöne von der Wellenform abhängt, sehen Sie auch, wie ich vorher sagen konnte, dass die Klangfarbe der Wellenform entspricht.

Am leichtesten hört man die Obertöne, wenn sie unharmonisch zum Grundtone sind, wie bei den Glocken. Die Kunst des Glockengusses besteht namentlich darin, der Glocke eine Form zu geben, bei welcher die tieferen stärksten Nebentöne harmonisch zum Grundtone werden, sonst klingt der Ton unmusikalisch, kesselähnlich; die höheren bleiben aber immer unharmonisch, und der Glockenton ist deshalb zur künstlerischen Musik nicht geeignet.

Dagegen ergiebt sich aus dem Gesagten, dass man die Obertöne desto schwerer hören wird, je häufiger man die zusammengesetzten Klänge gehört hat, in denen sie vorkommen. Das ist namentlich bei den Klängen der menschlichen Stimme der Fall, nach deren Obertönen viele und geschickte Beobachter vergebens gesucht haben.

In überraschender Weise wurde die eben vorgetragene Ansicht der Sache dadurch bestätigt, dass sich aus ihr eine Methode herleiten liess, durch welche es sowohl mir selbst gelang die Obertöne der menschlichen Stimme zu hören, als auch andere Personen sie hören zu lassen.

Es kommt dabei nicht auf ein besonders ausgebildetes musikalisches Gehör an, wie man bisher glaubte, sondern nur darauf, die Aufmerksamkeit durch geeignete Mittel passend zu lenken.

Lassen Sie neben dem Claviere durch eine kräftige Männerstimme den Vocal *O* auf das ungestrichene *es* singen. Geben Sie ganz leise auf dem Claviere das *b* der nächst höheren eingestrichenen Octave an, und hören Sie genau auf den verklingenden Clavierton. Ist der angegebene Ton als Oberton in dem Stimm-

klang enthalten, so schwindet der Clavierton scheinbar nicht, sondern das Ohr hört als seine Fortsetzung den entsprechenden Oberton der Stimme. So findet man bei passenden Abänderungen dieses Versuches, dass die verschiedenen Vocale sich durch ihre Obertöne von einander unterscheiden.

Noch leichter ist eine solche Untersuchung, wenn man das Ohr bewaffnet mit Kugeln aus Glas oder Metall, wie sie Fig. 12 zeigt. Deren weitere Oeffnung *a* wird gegen die Tonquelle hingekehrt, während das engere trichterförmige Ende *b* in den Gehörgang eingesetzt wird. Die ziemlich abgeschlossene Luftmasse der Kugel hat ihren bestimmten Eigenton, der zum Beispiel zum Vorschein kommt, wenn man sie am Rande der Oeffnung *a* anbläst. Wird nun der Eigenton der Kugel aussen angegeben, sei es als Grundton, sei es als Oberton irgend eines Klanges, so kommt die Luftmasse der Kugel in starkes Mitschwingen, und das mit dieser Luftmasse verbundene Ohr hört den betreffenden Ton in verstärkter Intensität. So ist es sehr leicht zu entscheiden, ob der Eigenton der Kugel in einem Klange oder einer Klangmasse vorkommt oder nicht.

Fig. 12.



Untersucht man die Vocale der menschlichen Stimme, so erkennt man mit Hülfe der Resonatoren leicht, dass die Obertöne jedes einzelnen Vocals in gewissen Gegenden der Scala besonders stark sind, so zum Beispiel die des *O* in der Gegend des eingestrichenen *b'*, die des *A* in der des zweigestrichenen *b''*, eine Octave höher. Eine Uebersicht dieser Gegenden der Scala, wo die Obertöne der einzelnen Vocale nach norddeutscher Aussprache besonders stark zum Vorschein kommen, folgt hier in Notenschrift:



Digitized by Google

Wie es einerlei ist, ob die verschiedenen einfachen Töne, die in einem solchen zusammengesetzten Klange, wie es ein Vocal der menschlichen Stimme ist, vereinigt sind, von einer oder mehreren Tonquellen herkommen, zeigt besonders folgender leicht anzustellender Versuch: Ein Clavier giebt bei gehobenem Dämpfer nicht bloss Klänge durch Mitklingen wieder, die dieselbe Höhe haben, wie diejenigen denen es nachklingt, sondern singen Sie den Vocal *A* auf irgend eine Note des Claviers hinein, so tönt auch ganz deutlich *A* wieder heraus, und singen Sie *E*, *O* oder *U* hinein, so klingen die Saiten *E*, *O* und *U* nach. Es kommt nur darauf an, dass Sie den Ton des Claviers, den Sie singen wollen, recht genau treffen. Der Vocalklang kommt aber nur dadurch zu Stande, dass die höheren Saiten, welche den harmonischen Obertönen des angegebenen Tones entsprechen, mitklingen. Lassen Sie auf diesen den Dämpfer ruhen, so gelingt der Versuch nicht.

So werden bei diesem Versuche durch den Ton einer Tonquelle, nämlich der Stimme, die Töne vieler Saiten erregt, und dadurch eine Luftbewegung hervorgebracht, die in Form, also auch in Klangfarbe, der des einfachen Tons gleich ist.

Wir haben bisher nur von Zusammensetzungen von Wellen verschiedener Länge gesprochen. Jetzt wollen wir Wellen gleicher Länge, die in gleicher Richtung fortgehen, zusammensetzen. Das Resultat wird hier ganz verschieden sein, je nachdem die Berge der einen mit den Bergen der anderen zusammentreffen, wobei Berge von doppelter Höhe und Thäler von doppelter Tiefe entstehen, oder Berge der einen mit Thälern der anderen. Wenn beide Wellenzüge gleiche Höhe haben, so dass die Berge gerade hinreichen die Thäler auszufüllen, so werden im letzten Falle Berge und Thäler gleichzeitig verschwinden, die beiden Wellen werden sich gegenseitig zerstören. Ebenso, wie zwei Wasserwellenzüge, können sich auch zwei Schallwellenzüge gegenseitig zerstören, wenn die verdichteten Theile des einen mit den verdünnten des anderen zusammenfallen. Diese merkwürdige Erscheinung, wo Schall den Schall gleicher Art zerstört, nennt man die Interferenz des Schalles.

Mit der oben beschriebenen Sirene lässt sich das leicht nachweisen; wenn man den oberen Kasten derselben so stellt, dass aus beiden Windkästen die Luftstösse der Reihen von 12 Löchern gleichzeitig hervorbrechen, so verstärken sie gegenseitig ihre Wirkung, und man bekommt den Grundton des betreffenden Sirenentons sehr voll und stark; stellt man aber den oberen Windkasten

Digitized by Google

so, dass die Luftstösse von oben erfolgen, wenn die untere Löcherreihe gedeckt ist, und umgekehrt, so verschwindet der Grundton, und man hört nur noch schwach den ersten Oberton, der eine Octave höher ist, und welcher unter diesen Umständen durch Interferenz nicht zerstört wird.

Die Interferenz führt uns zu den sogenannten Schwebungen der Töne. Wenn zwei gleichzeitig gehörte Töne genau gleiche Schwingungsdauer haben, und im Anfang ihre Wellenberge zusammenfallen, so werden sie auch fortdauernd zusammenfallen, oder wenn sie anfangs nicht zusammenfielen, werden sie auch bei längerer Dauer nicht zusammenfallen.

Die beiden Töne werden sich entweder fortdauernd verstärken, oder fortdauernd schwächen. Wenn die beiden Töne aber nur annähernd gleiche Schwingungsdauer haben, und ihre Wellenberge fallen anfangs zusammen, so dass sie sich verstärken, so werden allmälig die Berge des einen denen des andern voreilen. Es werden Zeiten kommen, wo die Berge des einen in Thäler des andern fallen, dann wieder Zeiten, wo die voreilenden Wellenberge des ersten wieder Berge des andern erreicht haben, und dies giebt sich kund durch abwechselnde Steigerungen und Schwächungen des Tons, die wir Schwebungen oder Stösse der Töne nennen. Man kann dergleichen Schwebungen oft hören, wenn zwei nicht ganz genau im Einklange befindliche Tonwerkzeuge dieselbe Note angeben. Ein verstimmtes Clavier, wo die zwei oder drei Saiten, die von derselben Taste angeschlagen werden, nicht mehr genau zusammenstimmen, lässt sie deutlich hören. Recht langsam und regelmässig erfolgende Schwebungen klingen in getragener Musik, namentlich in mehrstimmigem Kirchengesang, oft sehr schön, indem sie bald majestätischen Wogen gleich durch die hohen Gewölbe hinziehen, bald durch ein leichtes Beben dem Tone den Charakter der Inbrunst und Rührung verleihen. Je grösser die Differenz der Schwingungsdauer, desto schneller werden die Schwebungen. So lange nicht mehr als 4 bis 6 Schwebungen in der Secunde erfolgen, fasst das Ohr die abwechselnden Verstärkungen des Tons leicht einzeln auf. Bei noch kürzeren Schwebungen erscheint der Ton knarrend, oder, wenn er hoch ist, schrillend. Ein knarrender Ton ist eben ein durch schnelle Unterbrechungen getheilter Ton, ähnlich dem Buchstaben *R*, der dadurch entsteht, dass wir den Ton der Stimme durch Zittern des Gaumens oder der Zunge unterbrechen.

Werden die Schwebungen immer schneller, so wird es zu-

Digitized by Google

nächst dem Ohr immer schwerer sie einzeln zu hören, während noch eine Rauhigkeit des Tones bestehen bleibt. Zuletzt werden sie ganz unwahrnehmbar, und verfliessen, wie die einzelnen Luftstösse, die einen Ton zusammensetzen, in eine continuirliche Tonempfindung [1]).

Während also jeder einzelne musikalische Ton für sich im Hörnerven eine gleichmässig anhaltende Empfindung hervorbringt, stören sich zwei ungleich hohe Töne gegenseitig und zerschneiden sich in einzelne Tonstösse, die im Hörnerven eine discontinuirliche Erregung hervorbringen, und die dem Ohr ebenso unangenehm sind, wie ähnliche intermittirende und schnell wiederholte Reizungen anderen empfindlichen Organen, z. B. flackerndes, glitzerndes Licht dem Auge, Kratzen mit einer Bürste der Haut. Diese Rauhigkeit des Tones ist der wesentliche Charakter der Dissonanz. Am unangenehmsten ist sie dem Ohre, wenn die beiden Töne ungefähr um einen halben Ton auseinander stehen, wobei die Töne der mittleren Gegend der Scala etwa 20 bis 40 Stösse in der Secunde geben. Bei dem Unterschiede eines ganzen Tones ist die Rauhigkeit geringer, bei einer Terz pflegt sie, wenigstens in den höheren Lagen der Tonleiter, zu verschwinden. Die Terz kann daher als Consonanz erscheinen. Wenn die Grundtöne so weit von einander entfernt sind, dass sie keine hörbaren Schwebungen mehr hervorbringen, so können noch Schwebungen der Obertöne eintreten, und den Klang rauh machen. Wenn z. B. zwei Töne eine Quinte bilden, d. h. der eine zwei, der andere drei Schwingungen in gleicher Zeit vollendet, so haben beide unter ihren Obertönen einen, welcher in derselben Zeit sechs Schwingungen macht. Ist nun das Verhältniss der Grundtöne genau 2 zu 3, so sind auch die beiden Obertöne von sechs Schwingungen genau gleich, und stören die Harmonie der Grundtöne nicht; ist jenes Verhältniss nur angenähert wie 2 zu 3, so sind die beiden Obertöne nicht genau gleich, sondern machen mit einander Schwebungen und der Ton wird rauh.

Die Gelegenheit, solche Schwebungen unreiner Quinten, die übrigens nur langsam dahin wogen, zu hören, ist sehr häufig, weil auf dem Clavier und der Orgel bei unserem jetzigen Stimmungssystem alle Quinten unrein sind. Man erkennt bei richtig gelenk-

[1]) Der Uebergang der Schwebungen in eine rauhe Dissonanz wurde mittels zweier Orgelpfeifen ausgeführt, von denen die eine allmälig mehr und mehr verstimmt wurde.

Digitized by Google

ter Aufmerksamkeit, oder besser mit Hülfe eines passend gestimmten Resonators leicht, dass wirklich der bezeichnete Oberton in Schwebung begriffen ist. Die Schwebungen sind natürlich schwächer als die der Grundtöne, weil die schwebenden Obertöne schwächer sind. Wenn wir auch meistens nicht zum klaren Bewusstsein dieser schwebenden Obertöne kommen, so empfindet das Ohr doch ihre Wirkung als eine Ungleichförmigkeit oder Rauhigkeit des Gesammttons, während eine vollkommen reine Quinte, für deren Töne das Verhältniss der Schwingungszahlen genau wie 2 : 3 ist, vollkommen gleichmässig fortklingt, ohne irgend welche Veränderungen, Verstärkungen, Schwächungen oder Rauhigkeiten des Tons. Es ist schon vorher erwähnt worden, wie mit der Sirene in sehr einfacher Weise nachgewiesen werden kann, dass der vollkommenste Zusammenklang der Quinte genau dem genannten Verhältnisse der Schwingungszahlen entspricht; hier haben wir nun auch den Grund der Rauhigkeit kennen gelernt, welche durch jede Abweichung von jenem Verhältnisse hervorgebracht wird.

Ebenso klingen uns Töne, deren Schwingungszahlen sich genau wie 3 zu 4, oder wie 4 zu 5 zu einander verhalten, welche also eine reine Quarte oder reine Terz bilden, besser als solche, die von diesem Verhältnisse etwas abweichen. So gehören also zu einem gegebenen Tone als Grundton ganz genau bestimmte andere Tonstufen, die mit ihm zusammenklingen können, ohne eine Ungleichmässigkeit oder Rauhigkeit des Tones hervorzubringen, oder die wenigstens durch ihren Zusammenklang mit dem ersten Tone eine geringere Rauhigkeit hervorbringen als alle etwas grösseren oder etwas kleineren Tonintervalle.

Dadurch ist es bedingt, dass die neuere Musik, welche wesentlich auf die Harmonie consonirender Töne gebaut ist, gezwungen ist, in ihrer Scala nur gewisse genau bestimmte Tonstufen zu gebrauchen. Aber auch für die ältere einstimmige Musik, welche der Harmonie entbehrte, lässt sich nachweisen, wie die in allen musikalischen Klängen enthaltenen Obertöne bewirken konnten, dass Fortschritte in gewissen bestimmten Intervallen bevorzugt werden mussten, und wie durch einen gemeinsam in zwei Tönen einer Melodie enthaltenen Oberton eine gewisse dem Ohre fühlbare Verwandtschaft dieser Töne entsteht, welche ein künstlerisches Verbindungsmittel derselben bildet. Doch ist die Zeit zu knapp, dies hier weiter auszuführen; wir würden dabei genöthigt sein, weit in die Geschichte der Musik zurückzugehen.

Digitized by Google

Erwähnen will ich nur noch, dass noch eine andere Art von Beitönen besteht, die Combinationstöne, welche nur gehört werden, wenn zwei oder mehrere starke Töne verschiedener Höhe zusammenklingen, und dass auch diese unter Umständen Schwebungen und Rauhigkeiten des Zusammenklangs hervorbringen können. Wenn man auf der Sirene oder mit vollkommen rein gestimmten Orgelpfeifen, oder auf der Violine die Terz *c' e'* (Schwingungsverhältniss 4 : 5) angiebt, so hört man gleichzeitig schwach das *C* als Combinationston erklingen, welches zwei Octaven tiefer ist, als *c'*. Dasselbe *C* erklingt auch, wenn man gleichzeitig die Töne *e'* und *g'* (Schwingungsverhältniss 5 : 6) angiebt.

Giebt man nun die drei Töne *c'*, *e'* und *g'* gleichzeitig an, und ist ihr Verhältniss genau wie 4 : 5 : 6, so hat man zwei Mal den Combinationston *C* in vollkommenem Einklange und ohne Schwebungen. Wenn aber die drei Noten nicht ganz genau so gestimmt sind, wie jenes Zahlenverhältniss fordert, so sind die beiden Combinationstöne *C* etwas verschieden und geben leise Schwebungen.

Die Combinationstöne sind in der Regel viel schwächer als die Obertöne, ihre Schwebungen deshalb viel weniger merkbar und rauh, als die der Obertöne, so dass sie nur bei solchen Klangfarben in Betracht kommen, welche fast gar keine Obertöne haben, wie bei den gedackten Pfeifen der Orgel und bei den Flöten. Aber es ist unverkennbar, dass eben deshalb eine harmonische Musik, die mit solchen Instrumenten ausgeführt wird, kaum einen Unterschied zwischen Harmonie und Disharmonie bietet, und deshalb unserem Ohre charakterlos und weichlich klingt. Alle guten musikalischen Klangfarben sind vielmehr verhältnissmässig reich an Obertönen, namentlich den fünf ersten Obertönen, welche Octaven, Quinten und Terzen des Grundtons bilden, und in den Mixturen der Orgel setzt man sogar absichtlich Nebenpfeifen, welche der Reihe der harmonischen Obertöne der den Hauptton gebenden Pfeife entsprechen, dieser hinzu, um eine durchdringendere und kräftigere Klangfarbe zur Begleitung des Gemeindegesanges zu erhalten, so dass auch hierbei unverkennbar ist, eine wie wichtige Rolle die Obertöne bei der künstlerischen Wirkung der Musik spielen.

So sind wir also zum Kern der Harmonielehre vorgedrungen. Harmonie und Disharmonie scheiden sich dadurch, dass in der ersteren die Töne neben einander so gleichmässig abfliessen, wie jeder einzelne für sich, während in der Disharmonie Unverträg-

Digitized by Google

lichkeit stattfindet, und sie sich gegenseitig in einzelne Stösse zertheilen. Sie werden einsehen, wie zu diesem Resultate alles früher Besprochene zusammenwirkt. Zunächst beruht das Phänomen der Stösse oder Schwebungen auf Interferenz der Wellenbewegung; es konnte deshalb dem Schalle nur zukommen, weil er eine Wellenbewegung ist. Andererseits war für die Feststellung der consonirenden Intervalle die Fähigkeit des Ohres nothwendig, die Obertöne empfinden zu können, und die zusammengesetzten Wellensysteme nach dem Fourier'schen Satze in einfache aufzulösen. Dass die Obertöne der musikalisch brauchbaren Töne zum Grundtone im Verhältnisse der ganzen Zahlen zu Eins stehen, und dass die Schwingungsverhältnisse der harmonischen Intervalle deshalb den kleinsten ganzen Zahlen entsprechen, beruht ganz in dem Fourier'schen Satze. Wie wesentlich die genannte physiologische Eigenthümlichkeit des Ohres ist, wird namentlich klar, wenn wir es mit dem Auge vergleichen. Auch das Licht ist eine Wellenbewegung eines besonderen, durch den Weltraum verbreiteten Mittels, des Lichtäthers, auch das Licht zeigt die Erscheinungen der Interferenz. Auch das Licht hat Wellen verschiedener Schwingungsdauer, die das Auge als verschiedene Farben empfindet, nämlich die mit grösster Schwingungsdauer als Roth; dann folgen Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, dessen Schwingungsdauer etwa halb so gross als die des äussersten Roth ist. Aber das Auge kann zusammengesetzte Lichtwellensysteme, d. h. zusammengesetzte Farben nicht von einander scheiden; es empfindet sie in einer nicht aufzulösenden, einfachen Empfindung, der einer Mischfarbe. Es ist ihm deshalb gleichgültig, ob in der Mischfarbe Grundfarben von einfachen oder nicht einfachen Schwingungsverhältnissen vereinigt sind. Es hat keine Harmonie in dem Sinne wie das Ohr; es hat keine Musik.

Die Aesthetik sucht das Wesen des künstlerisch Schönen in seiner unbewussten Vernunftmässigkeit. Ich habe Ihnen heute das verborgene Gesetz aufzudecken gesucht, was den Wohlklang der harmonischen Tonverbindungen bedingt. Es ist recht eigentlich ein unbewusstes, so weit es in den Obertönen beruht, die zwar vom Nerven empfunden, gewöhnlich doch nicht in das Gebiet des bewussten Vorstellens eintreten, deren Verträglichkeit oder Unverträglichkeit aber doch gefühlt wird, ohne dass der Hörer weiss, wo der Grund seines Gefühls liegt.

Diese Erscheinungen des rein sinnlichen Wohlklanges sind freilich erst der niedrigste Grad des musikalisch Schönen. Für

Digitized by Google

die höhere, geistige Schönheit der Musik sind Harmonie und Disharmonie nur Mittel, aber wesentliche und mächtige Mittel. In der Disharmonie fühlt sich der Hörnerv von den Stössen unverträglicher Töne gequält, er sehnt sich nach dem reinen Abfluss der Töne in der Harmonie, und drängt zu ihr hin, um in ihr besänftigt zu verweilen. So treiben und beruhigen beide abwechselnd den Fluss der Töne, in dessen unkörperlicher Bewegung das Gemüth ein Bild der Strömung seiner Vorstellungen und Stimmungen anschaut. Aehnlich wie vor der wogenden See fesselt es hier die rhythmisch sich wiederholende und doch immer wechselnde Weise der Bewegung und trägt es mit sich fort. Aber während dort nur mechanische Naturkräfte blind walten, und in der Stimmung des Anschauenden deshalb schliesslich doch der Eindruck des Wüsten überwiegt, folgt in dem musikalischen Kunstwerk die Bewegung den Strömungen der erregten Seele des Künstlers. Bald sanft dahin fliessend, bald anmuthig hüpfend, bald heftig aufgeregt, von den Naturlauten der Leidenschaft durchzuckt oder gewaltig arbeitend, überträgt der Fluss der Töne in ursprünglicher Lebendigkeit ungeahnte Stimmungen, die der Künstler seiner Seele abgelauscht hat, in die Seele des Hörers, um ihn endlich in den Frieden ewiger Schönheit emporzutragen, zu dessen Verkündern unter den Menschen die Gottheit nur wenige ihrer erwählten Lieblinge geweiht hat.

Hier aber sind die Grenzen der Naturforschung und gebieten mir Halt.

Digitized by Google

ÜBER

DAS VERHÄLTNISS

DER

NATURWISSENSCHAFTEN

ZUR

GESAMMTHEIT DER WISSENSCHAFT.

Akademische Festrede

gehalten zu

Heidelberg am 22. November 1862

bei

Antritt des Prorectorats.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

Unsere Universität erneuert in der jährlichen Wiederkehr des heutigen Tages die dankbare Erinnerung an einen erleuchteten Fürsten dieses Landes, Karl Friedrich, der während einer Zeit, wo die ganze alte Ordnung Europa's umzustürzen schien, eifrig und im edelsten Sinne bemüht war das Wohl und die geistige Entwickelung seines Volkes zu befördern, und der es richtig zu erkennen wusste, dass die Erneuerung und Wiederbelebung dieser Universität eines der Hauptmittel zur Erreichung seiner wohlwollenden Absichten sein würde. Indem ich an einem solchen Tage von diesem Platze aus als Stellvertreter unserer gesammten Universität zu der gesammten Universität zu sprechen habe, ziemt es sich wohl einen Blick auf den Zusammenhang der Wissenschaften und ihres Studiums im Ganzen zu werfen, so weit dies von dem beschränkten Standpunkte aus möglich ist, den der Einzelne einnimmt.

Wohl kann es in jetziger Zeit so scheinen, als ob die gemeinsamen Beziehungen aller Wissenschaften zu einander, um deren Willen wir sie unter dem Namen einer Universitas litterarum zu vereinigen pflegen, lockerer als je geworden seien. Wir sehen die Gelehrten unserer Zeit vertieft in ein Detailstudium von so unermesslicher Ausdehnung, dass auch der grösste Polyhistor nicht mehr daran denken kann mehr als ein kleines Theilgebiet der heutigen Wissenschaft in seinem Kopfe zu beherbergen. Den Sprachforscher der drei letztvergangenen Jahrhunderte beschäftigte das Studium des Griechischen und Lateinischen schon genügend; nur für unmittelbar praktische Zwecke lernte man vielleicht noch einige europäische Sprachen. Jetzt hat sich die vergleichende Sprachforschung keine geringere Aufgabe

Digitized by Google

gestellt, als die, alle Sprachen aller menschlichen Stämme kennen zu lernen, um an ihnen die Gesetze der Sprachbildung selbst zu ermitteln, und mit dem riesigsten Fleisse hat sie sich an ihre Arbeit gemacht. Selbst innerhalb der classischen Philologie beschränkt man sich nicht mehr darauf, diejenigen Schriften zu studiren, welche durch ihre künstlerische Vollendung, durch die Schärfe ihrer Gedanken oder die Wichtigkeit ihres Inhalts die Vorbilder der Poesie und Prosa für alle Zeit geworden sind; man weiss, dass jedes verlorene Bruchstück eines alten Schriftstellers, jede Notiz eines pedantischen Grammatikers oder eines Byzantinischen Hofpoeten, jeder zerbrochene Grabstein eines römischen Beamten, der sich in einem unbekannten Winkel Ungarns, Spaniens oder Afrika's vorfindet, eine Nachricht oder ein Beweisstück enthalten kann, welches an seiner Stelle wichtig sein möchte, und so ist denn wieder eine andere Zahl von Gelehrten mit der Ausführung des riesigen Unternehmens beschäftigt, alle Reste des classischen Alterthums, welcher Art sie sein mögen, zu sammeln und zu katalogisiren, damit sie zum Gebrauch bereit seien. Nehmen Sie dazu das historische Quellenstudium, die Durchmusterung der in den Archiven der Staaten und der Städte aufgehäuften Pergamente und Papiere, das Zusammenlesen der in Memoiren, Briefsammlungen und Biographien zerstreuten Notizen, und die Entzifferung der in den Hieroglyphen und Keilschriften niedergelegten Documente; nehmen Sie dazu die noch immer an Umfang schnell wachsenden systematischen Uebersichten der Mineralien, der Pflanzen und Thiere, der lebenden wie der vorsündfluthlichen, so entfaltet sich vor unserem Blicke eine Masse gelehrten Wissens, welche uns schwindeln macht. In allen diesen Wissenschaften nimmt der Kreis der Forschung noch fortdauernd in demselben Maasse zu, als die Hülfsmittel der Beobachtung sich verbessern, ohne dass ein Ende abzusehen ist. Der Zoolog der vergangenen Jahrhunderte war meist zufrieden, wenn er die Zähne, die Behaarung, die Bildung der Füsse und andere äusserliche Kennzeichen eines Thieres beschrieben hatte. Der Anatom dagegen beschrieb die Anatomie des Menschen allein, so weit er sie mit dem Messer, der Säge und dem Meissel, oder etwa mit Hülfe von Injectionen der Gefässe ermitteln konnte. Das Studium der menschlichen Anatomie galt schon als ein entsetzlich weitläuftiges und schwer zu erlernendes Gebiet. Heut zu Tage begnügt man sich nicht mehr mit der sogenannten gröberen menschlichen Anatomie, welche fast, wenn auch mit Unrecht, als ein erschöpf-

Digitized by Google

tes Gebiet angesehen wird, sondern die vergleichende Anatomie, d. h. die Anatomie aller Thiere, und die mikroskopische Anatomie, also Wissenschaften von einem unendlich breiteren Inhalte, sind hinzugekommen und absorbiren das Interesse der Beobachter.

Die vier Elemente des Alterthums und der mittelalterlichen Alchymie sind in unserer jetzigen Chemie auf 64 [1]) gewachsen; die drei letzten von ihnen sind nach einer an unserer Universität entdeckten Methode aufgefunden worden, welche noch viele ähnliche Funde in Aussicht stellt. Aber nicht bloss die Zahl der Elemente ist ausserordentlich gewachsen, auch die Methoden, complicirte Verbindungen derselben herzustellen, haben solche Fortschritte gemacht, dass die sogenannte organische Chemie, welche nur die Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und mit einigen wenigen anderen Elementen umfasst, schon wieder eine Wissenschaft für sich geworden ist.

„So viel Stern' am Himmel stehen" war in alter Zeit der natürliche Ausdruck für eine Zahl, welche alle Grenzen unseres Fassungsvermögens übersteigt; Plinius findet es ein an Vermessenheit streifendes Unternehmen des Hipparch (rem etiam Deo improbam), dass er die Sterne zu zählen und ihre Oerter einzeln abzumessen unternommen habe. Und doch liefern die bis zum XVII. Jahrhundert ohne Hülfe von Fernröhren angefertigten Sternverzeichnisse nur 1000 bis 1500 Sterne 1ter bis 5ter Grösse. Gegenwärtig ist man an mehreren Sternwarten beschäftigt, diese Kataloge bis zur 10ten Grösse fortzusetzen, was eine Gesammtzahl von etwa 200000 Fixsternen über den ganzen Himmel ergeben wird, welche alle aufgezeichnet, und deren Oerter messend bestimmt werden sollen. Die nächste Folge dieser Untersuchungen ist dann auch die Möglichkeit gewesen, eine grosse Menge neuer Planeten zu entdecken, von denen vor 1781 nur 6 bekannt waren, im gegenwärtigen Augenblicke dagegen 75 [2]).

Wenn wir diese riesige Thätigkeit in allen Zweigen überblicken, so können uns die verwegenen Anschläge der Menschen wohl in ein erschrecktes Staunen versetzen, wie den Chor in der Antigone, wo er ausruft:

---

[1]) Mit dem seitdem entdeckten Indium jetzt 65. — [2]) Am 11. Mai 1883 ist schon der 233ste der kleinen Planeten entdeckt worden. Die Zahl derselben wächst alljährlich.

Digitized by Google

Πολλὰ τὰ δεινά, κοὐδὲν ἀνθρώπου δεινότερον πέλει.
„Vieles ist erstaunlich, aber nichts erstaunlicher als der Mensch."

Wer soll noch das Ganze übersehen, wer die Fäden des Zusammenhangs in der Hand behalten und sich zurecht finden? Die natürliche Folge davon tritt zunächst darin hervor, dass jeder einzelne Forscher ein immer kleiner werdendes Gebiet zu seiner eigenen Arbeitsstätte zu wählen gezwungen ist und nur unvollständige Kenntnisse von den Nachbargebieten sich bewahren kann. Wir sind jetzt geneigt zu lachen, wenn wir hören, dass im 17. Jahrhundert Keppler als Professor der Mathematik und Moral nach Grätz berufen wurde, oder dass am Anfange des 18. Jahrhunderts Boerhave zu Leyden gleichzeitig die Professuren der Botanik, Chemie und klinischen Medicin inne hatte, worin natürlich damals auch noch die Pharmacie eingeschlossen war. Jetzt brauchen wir mindestens vier, an vollständig besetzten Universitäten sogar sieben bis acht Lehrer um alle diese Fächer zu vertreten. Aehnlich ist es in den anderen Disciplinen.

Ich habe um so mehr Veranlassung die Frage nach dem Zusammenhange der verschiedenen Wissenschaften hier zu erörtern, als ich selbst dem Kreise der Naturwissenschaften angehöre, und man die Naturwissenschaften in neuerer Zeit gerade am meisten beschuldigt hat, einen isolirten Weg eingeschlagen zu haben und den übrigen Wissenschaften, die durch gemeinsame philologische und historische Studien unter einander verbunden sind, fremd geworden zu sein. Ein solcher Gegensatz ist in der That eine Zeit lang fühlbar gewesen und scheint mir namentlich unter dem Einflusse der Hegel'schen Philosophie sich entwickelt zu haben, oder durch diese Philosophie mindestens klarer als vorher an das Licht gezogen worden zu sein. Denn am Ende des vorigen Jahrhunderts unter dem Einflusse der Kant'schen Lehre war eine solche Trennung noch nicht ausgesprochen; diese Philosophie stand vielmehr mit den Naturwissenschaften auf genau gleichem Boden, wie am besten Kant's eigene naturwissenschaftliche Arbeiten zeigen, namentlich seine auf Newton's Gravitationsgesetz gestützte kosmogonische Hypothese, welche später unter Laplace's Namen ausgebreitete Anerkennung erhalten hat. Kant's kritische Philosophie ging nur darauf aus, die Quellen und die Berechtigung unseres Wissens zu prüfen und den einzelnen übrigen Wissenschaften gegenüber den Maasstab für ihre geistige Arbeit aufzustellen. Ein Satz, der a priori durch reines Denken gefun-

Digitized by Google

den war, konnte nach seiner Lehre immer nur eine Regel für die Methode des Denkens sein, aber keinen positiven und realen Inhalt haben. Die Identitätsphilosophie war kühner. Sie ging von der Hypothese aus, dass auch die wirkliche Welt, die Natur und das Menschenleben das Resultat des Denkens eines schöpferischen Geistes sei, welcher Geist seinem Wesen nach als dem menschlichen gleichartig betrachtet wurde. Sonach schien der menschliche Geist es unternehmen zu können, auch ohne durch äussere Erfahrungen dabei geleitet zu sein, die Gedanken des Schöpfers nachzudenken und durch eigene innere Thätigkeit dieselben wiederzufinden. In diesem Sinne ging nun die Identitätsphilosophie darauf aus, die wesentlichen Resultate der übrigen Wissenschaften a priori zu construiren. Es mochte dieses Geschäft mehr oder weniger gut gelingen in Bezug auf Religion, Recht, Staat, Sprache, Kunst, Geschichte, kurz in allen den Wissenschaften, deren Gegenstand sich wesentlich aus psychologischer Grundlage entwickelt, und die daher unter dem Namen der Geisteswissenschaften passend zusammengefasst werden. Staat, Kirche, Kunst, Sprache sind dazu da, um gewisse geistige Bedürfnisse der Menschen zu befriedigen. Wenn auch äussere Hindernisse, Naturkräfte, Zufall, Nebenbuhlerschaft anderer Menschen oft störend eingreifen, so werden schliesslich doch die beharrlich das gleiche Ziel verfolgenden Bestrebungen des menschlichen Geistes über die planlos waltenden Hindernisse das Uebergewicht erhalten und den Sieg erringen müssen. Unter diesen Umständen wäre es nicht gerade unmöglich den allgemeinen Entwickelungsgang der Menschheit in Bezug auf die genannten Verhältnisse aus einem genauen Verständniss des menschlichen Geistes a priori vorzuzeichnen, namentlich wenn der Philosophirende schon ein breites empirisches Material vor sich hat, dem sich seine Abstractionen anschliessen können. Auch wurde Hegel in seinen Versuchen, diese Aufgabe zu lösen, wesentlich unterstützt durch die tiefen philosophischen Blicke in Geschichte und Wissenschaft, welche die Philosophen und Dichter der ihm unmittelbar vorausgehenden Zeit gethan hatten, und die er hauptsächlich nur zusammenzuordnen und zu verbinden brauchte, um ein durch viele überraschende Einsichten imponirendes System herzustellen. So gelang es ihm bei der Mehrzahl der Gebildeten seiner Zeit einen enthusiastischen Beifall zu finden und überschwängliche Hoffnungen auf die Lösung der tiefsten Räthsel des Menschenlebens zu erregen; das letztere um so mehr, als der Zusammenhang des Systems durch eine son-

Digitized by Google

derbar abstracte Sprache verhüllt war, und vielleicht von Wenigen seiner Verehrer wirklich verstanden und durchschaut worden ist.

Dass nun die Construction der wesentlichen Hauptresultate der Geisteswissenschaften mehr oder weniger gut gelang, war immer noch kein Beweis für die Richtigkeit der Identitätshypothese, von der Hegel's Philosophie ausging. Es wären im Gegentheil die Thatsachen der Natur das entscheidende Prüfungsmittel gewesen. Dass in den Geisteswissenschaften sich die Spuren der Wirksamkeit des menschlichen Geistes und seiner Entwickelungsstufen wiederfinden mussten, war selbstverständlich. Wenn aber die Natur das Resultat der Denkprocesse eines ähnlichen schöpferischen Geistes abspiegelte, so mussten sich die verhältnissmässig einfacheren Formen und Vorgänge der Natur um so leichter dem Systeme einordnen lassen. Aber hier gerade scheiterten die Anstrengungen der Identitätsphilosophie, wir dürfen wohl sagen, vollständig. Hegel's Naturphilosophie erschien, den Naturforschern wenigstens, absolut sinnlos. Von den vielen ausgezeichneten Naturforschern jener Zeit fand sich nicht ein Einziger, der sich mit den Hegel'schen Ideen hätte befreunden können. Da andererseits für Hegel es von besonderer Wichtigkeit war, gerade in diesem Felde sich Anerkennung zu erfechten, die er anderwärts so reichlich gefunden hatte, so folgte eine ungewöhnlich leidenschaftliche und erbitterte Polemik von seiner Seite, die namentlich gegen J. Newton, als den ersten und grössten Repräsentanten der wissenschaftlichen Naturforschung, gerichtet war. Die Naturforscher wurden von den Philosophen der Bornirtheit geziehen, die letzteren von den ersteren der Sinnlosigkeit. Die Naturforscher fingen nun an ein gewisses Gewicht darauf zu legen, dass ihre Arbeiten ganz frei von allen philosophischen Einflüssen gehalten seien, und es kam bald dahin, dass viele von ihnen, und zwar selbst Männer von hervorragender Bedeutung, alle Philosophie nicht nur als unnütz, sondern selbst als schädliche Träumerei verdammten. Wir können nicht leugnen, dass hierbei mit den ungerechtfertigten Ansprüchen, welche die Identitätsphilosophie auf Unterordnung der übrigen Disciplinen erhob, auch die berechtigten Ansprüche der Philosophie, nämlich die Kritik der Erkenntnissquellen auszuüben und den Maasstab der geistigen Arbeit festzustellen, über Bord geworfen wurden.

In den Geisteswissenschaften war der Verlauf ein anderer, wenn er auch schliesslich ziemlich zu demselben Resultate führte.

Digitized by Google

In allen Zweigen der Wissenschaft, für Religion, Staat, Recht, Kunst, Sprache, standen begeisterte Anhänger der Hegel'schen Philosophie auf, welche die genannten Gebiete im Sinne des Systems zu reformiren und schnell auf speculativem Wege Früchte einzusammeln suchten, denen man sich bis dahin nur langsam durch langwierige Arbeit genähert hatte. So stellte sich eine Zeit lang ein schneidender und scharfer Gegensatz zwischen den Naturwissenschaften auf der einen und den Geisteswissenschaften auf der andern Seite her, wobei den ersteren nicht selten der Charakter der Wissenschaft ganz abgesprochen wurde.

Freilich dauerte das gespannte Verhältniss in seiner ersten Bitterkeit nicht lange. Die Naturwissenschaften erwiesen vor Jedermanns Augen durch eine schnell auf einander folgende Reihe glänzender Entdeckungen und Anwendungen, dass ein gesunder Kern ungewöhnlicher Fruchtbarkeit in ihnen wohne; man konnte ihnen Achtung und Anerkennung nicht versagen. Und auch in den übrigen Gebieten des Wissens erhoben gewissenhafte Erforscher der Thatsachen bald ihren Widerspruch gegen den allzu kühnen Icarusflug der Speculation. Doch lässt sich auch ein wohlthätiger Einfluss jener philosophischen Systeme nicht verkennen; wir dürfen wohl nicht leugnen, dass seit dem Auftreten Hegel's und Schelling's die Aufmerksamkeit der Forscher in den verschiedenen Zweigen der Geisteswissenschaften lebhafter und dauernder auf ihren geistigen Inhalt und Zweck gerichtet gewesen ist, als in den vorausgehenden Jahrhunderten vielleicht der Fall war; und die grosse Arbeit jener Philosophie ist desshalb nicht ganz vergebens gewesen.

In dem Maasse nun, als die empirische Erforschung der Thatsachen auch in den anderen Wissenschaften wieder in den Vordergrund trat, ist nun allerdings der Gegensatz zwischen ihnen und den Naturwissenschaften gemildert worden. Indessen, wenn derselbe durch Einfluss der genannten philosophischen Meinungen auch in übertriebener Schärfe zum Ausdruck gekommen war, lässt sich doch nicht verkennen, dass ein solcher Gegensatz wirklich in der Natur der Dinge begründet ist und sich geltend macht. Es liegt ein solcher zum Theil in der Art der geistigen Arbeit begründet, zum Theil in dem Inhalt der genannten Fächer, wie es der Name der Natur- und Geisteswissenschaften schon andeutet. Der Physiker wird einige Schwierigkeit finden dem Philologen oder Juristen die Einsicht in einen verwickelten Naturprocess zu eröffnen; er muss von ihnen dabei Ab-

Digitized by Google

stractionen von dem sinnlichen Schein und eine Gewandtheit in dem Gebrauche geometrischer und mechanischer Anschauungen verlangen, in denen ihm die anderen nicht so leicht nachfolgen können. Andererseits werden die Aesthetiker und Theologen den Naturforscher vielleicht zu mechanischen und materialistischen Erklärungen zu geneigt finden, die ihnen trivial erscheinen, und durch welche sie in der Wärme ihres Gefühls und ihrer Begeisterung gestört werden. Der Philolog und der Historiker, denen auch der Jurist und Theolog durch gemeinsame philologische und historische Studien eng verbunden sich anschliesst, werden den Naturforscher auffallend gleichgültig gegen literarische Schätze finden, ja vielleicht sogar gleichgültiger, als Recht ist, für die Geschichte seiner eigenen Wissenschaft. Endlich ist nicht zu leugnen, dass sich die Geisteswissenschaften ganz direct mit den theuersten Interessen des menschlichen Geistes und mit den durch ihn in die Welt eingeführten Ordnungen befassen, die Naturwissenschaften dagegen mit äusserem, gleichgültigem Stoff, den wir scheinbar nur des practischen Nutzens wegen nicht umgehen können, der aber vielleicht kein unmittelbares Interesse für die Bildung des Geistes zu haben scheinen könnte.

Da nun die Sache so liegt, da sich die Wissenschaften in unendlich viele Aeste und Zweige gespalten haben, da lebhaft gefühlte Gegensätze zwischen ihnen entwickelt sind, da kein Einzelner mehr das Ganze oder auch selbst nur einen erheblichen Theil des Ganzen umfassen kann, hat es noch einen Sinn, sie alle an denselben Anstalten zusammenzuhalten? Ist die Vereinigung der vier Facultäten zu einer Universität nur ein Rest des Mittelalters? Manche äussere Vortheile sind schon dafür geltend gemacht worden, dass man die Mediciner in die Spitäler der grossen Städte schicke, die Naturforscher in die polytechnischen Schulen, und für die Theologen und Juristen besondere Seminare und Schulen errichte. Wir wollen hoffen, dass die deutschen Universitäten noch lange vor einem solchen Schicksale bewahrt bleiben mögen! Dadurch würde in der That der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Wissenschaften zerrissen werden, und wie wesentlich nothwendig ein solcher Zusammenhang nicht nur in formeller Beziehung für die Erhaltung der wissenschaftlichen Arbeitskraft, sondern auch in materieller Beziehung für die Förderung der Ergebnisse dieser Arbeit sei, wird eine kurze Betrachtung zeigen.

Zunächst in formaler Beziehung. Ich möchte sagen, die Vereinigung der verschiedenen Wissenschaften ist nöthig, um das ge-

Digitized by Google

sunde Gleichgewicht der geistigen Kräfte zu erhalten. Jede einzelne Wissenschaft nimmt gewisse Geistesfähigkeiten besonders in Anspruch und kräftigt sie dem entsprechend durch anhaltendere Uebung. Aber jede einseitige Ausbildung hat ihre Gefahr; sie macht unfähig für die weniger geübten Arten der Thätigkeit, beschränkt dadurch den Blick für den Zusammenhang des Ganzen; namentlich aber treibt sie auch leicht zur Selbstüberschätzung. Wer bemerkt, dass er eine gewisse Art geistiger Arbeit viel besser verrichtet als andere Menschen, vergisst leicht, dass er manches nicht leisten kann, was andere viel besser thun als er selbst; und Selbstüberschätzung — das vergesse Niemand, der sich den Wissenschaften widmet — ist der grösste und schlimmste Feind aller wissenschaftlichen Thätigkeit. Wie viele und grosse Talente haben nicht schon die dem Gelehrten vor allen Dingen nöthige und so schwer zu übende Selbstkritik vergessen, oder sind ganz in ihrer Thätigkeit erlahmt, weil sie trockne emsige Arbeit ihrer selbst unwürdig glaubten und nur geistreiche Ideencombinationen und weltumgestaltende Entdeckungen hervorzubringen bestrebt waren! Wie viele solche haben nicht in verbitterter und menschenfeindlicher Stimmung ein melancholisches Leben zu Ende geführt, weil ihnen die Anerkennung der Menschen fehlte, die natürlich durch Arbeit und Erfolge errungen werden muss, aber nicht dem bloss sich selbst bewundernden Genie gezollt zu werden pflegt. Und je isolirter der Einzelne ist, desto leichter droht ihm eine solche Gefahr, während umgekehrt nichts belebender ist, als zur Anstrengung aller Kräfte genöthigt zu sein, um sich die Anerkennung solcher Männer zu erringen, denen man selbst die höchste Anerkennung zu widmen sich gezwungen fühlt.

Wenn wir die Art der geistigen Thätigkeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft vergleichen, so zeigen sich gewisse durchgehende Unterschiede nach den Wissenschaften selbst, wenn auch daneben nicht zu verkennen ist, dass jedes einzelne ausgezeichnete Talent seine besondere individuelle Geistesrichtung hat, wodurch es gerade für seine besondere Art von Thätigkeit vorzugsweise befähigt wird. Man braucht nur die Arbeiten zweier gleichzeitiger Forscher in ganz eng benachbarten Gebieten zu vergleichen, so wird man sich in der Regel überzeugen können, dass in dem Maasse, als die Männer ausgezeichneter sind, desto bestimmter ihre geistige Individualität ausgesprochen ist, und desto weniger der eine im Stande sein würde die Arbeiten des andern

Digitized by Google

auszuführen. Bei der heutigen Gelegenheit kann es sich natürlich nur darum handeln, die allgemeinsten Unterschiede, welche die geistige Arbeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft darbietet, zu charakterisiren.

Ich habe an den riesenhaften Umfang des Materials unserer Wissenschaften erinnert. Zunächst ist klar, dass je riesenhafter dieser Umfang ist, eine desto bessere und genauere Organisation und Anordnung dazu gehört, um nicht im Labyrinth der Gelehrsamkeit sich hoffnungslos zu verlaufen. Je besser die Ordnung und Systematisirung ist, desto grösser kann auch die Anhäufung der Einzelheiten werden, ohne dass der Zusammenhang leidet. Unsere Zeit kann eben so viel mehr im Einzelnen leisten, weil unsere Vorgänger uns gelehrt haben, wie die Organisation des Wissens einzurichten ist.

Diese Organisation besteht nun in erster Stufe nur in einer äusserlichen mechanischen Ordnung, wie sie uns unsere Kataloge, Lexica, Register, Indices, Litteraturübersichten, Jahresberichte, Gesetzsammlungen, naturhistorischen Systeme u. s. w. geben. Mit Hülfe dieser Dinge wird zunächst nur erreicht, dass dasjenige Wissen, welches nicht unmittelbar im Gedächtnisse aufzubewahren ist, jeden Augenblick von demjenigen, der es braucht, gefunden werden kann. Mittels eines guten Lexicon kann jetzt ein Gymnasiast im Verständniss der Classiker manches leisten, was einem Erasmus trotz der Belesenheit eines langen Lebens schwer geworden sein muss. Die Werke dieser Art bilden gleichsam den Grundstock des wissenschaftlichen Vermögens der Menschheit, mit dessen Zinsen gewirthschaftet wird; man könnte sie vergleichen mit einem Capital, was in Ländereien angelegt ist. Wie die Erde, aus der das Land besteht, sieht das Wissen, was in den Katalogen, Lexicis und Verzeichnissen steckt, wenig einladend und unschön aus, der Unkundige weiss die Arbeit und Kosten, welche in diesen Acker gesteckt sind, nicht zu erkennen und nicht zu schätzen; die Arbeit des Pflügers erscheint unendlich schwerfällig, mühsam und langweilig. Wenn aber auch die Arbeit des Lexicographen oder des naturhistorischen Systematikers einen eben so mühsamen und hartnäckigen Fleiss in Anspruch nimmt, wie die des Pflügers, so muss man doch nicht glauben, dass sie untergeordneter Art oder so trocken und mechanisch sei, wie sie nachher aussieht, wenn man das Verzeichniss fertig gedruckt vor sich liegen hat. Es muss eben auch dabei jede einzelne Thatsache durch aufmerksame Beobachtung aufgefunden, nachher ge-

Digitized by Google

prüft und verglichen werden, es muss das Wichtige von dem Unwichtigen gesondert werden, und dies alles kann offenbar nur Jemand thun, der den Zweck, zu welchem gesammelt wird, den geistigen Inhalt der betreffenden Wissenschaft und ihre Methoden lebendig aufgefasst hat, und für einen solchen wird auch jeder einzelne Fall wieder in Zusammenhang mit dem Ganzen treten und sein eigenthümliches Interesse haben. Sonst würde ja auch eine solche Arbeit die schlimmste Sclavenarbeit sein, die sich ausdenken liesse. Dass auch auf diese Werke die fortschreitende Ideenentwickelung der Wissenschaft Einfluss hat, zeigt sich eben darin, dass man fortdauernd neue Lexica, neue naturhistorische Systeme, neue Gesetzsammlungen, neue Sternkataloge auszuarbeiten für nöthig findet; darin spricht sich die fortschreitende Kunst der Methode und der Organisation des Wissens aus.

Unser Wissen soll nun aber nicht in der Form der Kataloge liegen bleiben; denn eben, dass wir es in dieser Form, schwarz auf weiss gedruckt, äusserlich mit uns herumtragen müssen, zeigt an, dass wir es geistig nicht bezwungen haben. Es ist nicht genug die Thatsachen zu kennen; Wissenschaft entsteht erst, wenn sich ihr Gesetz und ihre Ursachen enthüllen. Die logische Verarbeitung des gegebenen Stoffs besteht zunächst darin, dass wir das Aehnliche zusammenschliessen und einen allgemeinen Begriff ausbilden, der es umfasst. Ein solcher Begriff, wie sein Namen andeutet, begreift in sich eine Menge von Einzelheiten und vertritt sie in unserem Denken. Wir nennen ihn Gattungsbegriff, wenn er eine Menge existirender Dinge, wir nennen ihn Gesetz, wenn er eine Reihe von Vorgängen oder Ereignissen umfasst. Wenn ich ermittelt habe, dass alle Säugethiere, d. h. alle warmblütigen Thiere, welche lebendige Junge gebären, auch zugleich durch Lungen athmen, zwei Herzkammern und mindestens drei Gehörknöchelchen haben, so brauche ich die genannten anatomischen Eigenthümlichkeiten nicht mehr vom Affen, Pferde, Hunde und Wallfisch einzeln zu behalten. Die allgemeine Regel umfasst hier eine ungeheure Menge von einzelnen Fällen und vertritt sie im Gedächtniss. Wenn ich das Brechungsgesetz der Lichtstrahlen ausspreche, so umfasst dieses Gesetz nicht nur die Fälle, wo Strahlen unter den verschiedensten Winkeln auf eine einzelne ebene Wasserfläche fallen, und giebt mir Auskunft über den Erfolg, sondern es umfasst alle Fälle, wo Lichtstrahlen irgend einer Farbe auf die irgendwie gestaltete Oberfläche einer irgendwie gearteten durchsichtigen Substanz fallen. Es umfasst also dieses

Digitized by Google

Gesetz eine wirklich unendliche Anzahl von Fällen, welche im Gedächtnisse einzeln zu bewahren gar nicht möglich gewesen sein würde. Dabei ist aber weiter zu bemerken, dass dasselbe Gesetz nicht nur diejenigen Fälle umfasst, die wir selbst oder andere Menschen schon beobachtet haben, sondern wir werden auch nicht anstehen, es auf neue, noch nicht beobachtete Fälle anzuwenden, um den Erfolg der Lichtbrechung darnach vorauszusagen, und werden uns in unserer Erwartung nicht getäuscht finden. Ebenso werden wir, falls wir ein unbekanntes, noch nicht anatomisch zerlegtes Säugethier finden sollten, mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit voraussetzen dürfen, dass dasselbe Lungen, zwei Herzkammern, und drei oder mehr Gehörknöchelchen habe.

Indem wir also die Thatsachen der Erfahrung denkend zusammenfassen und Begriffe bilden, seien es nun Gattungsbegriffe oder Gesetze, so bringen wir unser Wissen nicht nur in eine Form, in der es leicht zu handhaben und aufzubewahren ist, sondern wir erweitern es auch, da wir die gefundenen Regeln und Gesetze auch auf alle ähnlichen künftig noch aufzufindenden Fälle auszudehnen uns berechtigt fühlen.

Die genannten Beispiele sind solche, in denen die Zusammenfassung der Einzelfälle durch Denken zu Begriffen keine Schwierigkeit mehr findet, und das Wesen des ganzen Vorgangs klar vor Augen liegt. Aber in complicirten Fällen gelingt es uns nicht so gut das Aehnliche rein vom Unähnlichen zu scheiden und es zu einem scharf und klar begrenzten Begriffe zusammenzufassen. Nehmen Sie an, dass wir einen Menschen als ehrgeizig kennen; wir werden vielleicht mit ziemlicher Sicherheit vorhersagen, dass wenn dieser Mann unter gewissen Bedingungen zu handeln haben wird, er seinem Ehrgeize folgen und sich für eine gewisse Art des Handelns entscheiden wird. Aber weder können wir mit voller Bestimmtheit definiren, woran ein Ehrgeiziger zu erkennen ist, oder nach welchem Maass der Grad seines Ehrgeizes zu messen ist; noch können wir mit Bestimmtheit sagen, welcher Grad des Ehrgeizes vorhanden sein muss, damit er in dem betreffenden Falle den Handlungen des Mannes gerade die betreffende Richtung gebe. Wir machen also unsere Vergleichungen zwischen den bisher beobachteten Handlungen des einen Mannes und zwischen den Handlungen anderer Männer, welche in ähnlichen Fällen ähnlich gehandelt haben, und ziehen unseren Schluss auf den Erfolg der künftigen Handlungen, ohne weder den Major noch den Minor

Digitized by Google

dieses Schlusses in einer bestimmten und deutlich begrenzten Form aussprechen zu können, ja ohne uns vielleicht selbst klar gemacht zu haben, dass unsere Vorhersagung auf der beschriebenen Vergleichung beruht. Unser Urtheil geht in einem solchen Falle nur aus einem gewissen psychologischen Tacte, nicht aus bewusstem Schliessen hervor, obgleich im Wesentlichen der geistige Process derselbe geblieben ist, wie in dem Falle, wo wir einem neugefundenen Säugethiere Lungen zuschreiben.

Diese letztere Art der Induction nun, welche nicht bis zur vollendeten Form des logischen Schliessens, nicht zur Aufstellung ausnahmslos geltender Gesetze durchgeführt werden kann, spielt im menschlichen Leben eine ungeheuer ausgebreitete Rolle. Auf ihr beruht die ganze Ausbildung unserer Sinneswahrnehmungen, wie sich namentlich durch die Untersuchung der sogenannten Sinnestäuschungen nachweisen lässt. Wenn z. B. in unserem Auge die Nervenausbreitung durch einen Stoss gereizt wird, so bilden wir die Vorstellung von Licht im Gesichtsfelde, weil wir unser ganzes Leben lang Reizung in unsern Sehnervenfasern nur gefühlt haben, so oft Licht im Gesichtsfelde war, und gewöhnt sind, die Empfindung der Sehnervenfasern mit Licht im Gesichtsfelde zu identificiren, was wir auch in einem Falle thun, wo es nicht passt. Dieselbe Art der Induction spielt denn auch eine Hauptrolle den psychologischen Vorgängen gegenüber wegen der ausserordentlichen Verwickelung der Einflüsse, welche die Bildung des Charakters und der momentanen Gemüthsstimmung der Menschen bedingen. Ja, da wir uns selbst freien Willen zuschreiben, d. h. die Fähigkeit, aus eigener Machtvollkommenheit zu handeln, ohne dabei von einem strengen und unausweichlichen Causalitätsgesetze gezwungen zu sein, so läugnen wir dadurch überhaupt ganz und gar die Möglichkeit, wenigstens einen Theil der Aeusserungen unserer Seelenthätigkeit auf ein streng bindendes Gesetz zurückzuführen.

Man könnte nun diese Art der Induction im Gegensatz zu der **logischen**, welche es zu scharf definirten allgemeinen Sätzen bringt, die **künstlerische Induction** nennen, weil sie im höchsten Grade bei den ausgezeichneteren Kunstwerken hervortritt. Es ist ein wesentlicher Theil des künstlerischen Talents, die charakteristischen äusseren Kennzeichen eines Charakters und einer Stimmung durch Worte, Form und Farbe, oder Töne wiedergeben zu können, und durch eine Art instinctiver Anschauung zu erfassen, wie sich die Seelenzustände fortentwickeln müssen, ohne da-

Digitized by Google

bei durch irgend eine fassbare Regel geleitet zu sein. Im Gegentheil, wo wir merken, dass der Künstler mit Bewusstsein nach allgemeinen Regeln und Abstractionen gearbeitet hat, finden wir sein Werk arm und trivial, da ist es mit unserer Bewunderung zu Ende. Die Werke der grossen Künstler dagegen bringen uns die Bilder der Charaktere und Stimmungen mit einer Lebhaftigkeit, einem Reichthum an individuellen Zügen und einer überzeugenden Kraft der Wahrheit entgegen, welche der Wirklichkeit fast überlegen scheint, weil die störenden Momente daraus fortbleiben.

Ueberblicken wir nun die Reihe der Wissenschaften mit Beziehung auf die Art, wie sie ihre Resultate zu ziehen haben, so tritt uns ein durchgehender Unterschied zwischen den Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften entgegen. Die Naturwissenschaften sind meist im Stande ihre Inductionen bis zu scharf ausgesprochenen allgemeinen Regeln und Gesetzen durchzuführen, die Geisteswissenschaften dagegen haben es überwiegend mit Urtheilen nach psychologischem Tactgefühl zu thun. So müssen die historischen Wissenschaften zunächst die Glaubwürdigkeit der Berichterstatter prüfen, die ihnen die Thatsachen überliefern; sind die Thatsachen festgestellt, so beginnt ihr schwereres und wichtigeres Geschäft, die oft sehr verwickelten und mannigfaltigen Motive der handelnden Völker und Individuen aufzusuchen; beides ist wesentlich zu entscheiden nur durch psychologische Anschauung. Die philologischen Wissenschaften, insofern sie sich mit Erklärung und Verbesserung der uns überlieferten Texte, mit Litteratur- und Kunstgeschichte beschäftigen, müssen den Sinn, den der Schriftsteller auszudrücken, die Nebenbeziehungen, welche er durch seine Worte anzudeuten beabsichtigte, herauszufühlen suchen; sie müssen zu dem Ende von einer richtigen Anschauung sowohl der Individualität des Schriftstellers als des Genius der Sprache, in der er schrieb, auszugehen wissen. Alles dies sind Fälle künstlerischer, nicht eigentlich logischer Induction. Das Urtheil lässt sich hier nur gewinnen, wenn eine sehr grosse Menge von einzelnen Thatsachen ähnlicher Art im Gedächtniss bereit ist, um schnell mit der gerade vorliegenden Frage in Beziehung gesetzt zu werden. Eines der ersten Erfordernisse für diese Art von Studien ist desshalb ein treues und bereites Gedächtniss. In der That haben viele der berühmten Historiker und Philologen durch die Kraft ihres Gedächtnisses das Staunen ihrer Zeitgenossen erregt. Natürlich wäre das Gedächtniss allein nicht ausrei-

Digitized by Google

chend ohne die Fähigkeit, schnell das wesentlich Aehnliche überall herauszufinden, ohne eine fein und reich ausgebildete Anschauung der Seelenbewegungen des Menschen, welche letztere wieder nicht ohne eine gewisse Wärme des Gefühls und des Interesse an der Beobachtung der Seelenzustände Anderer zu erreichen sein möchte. Während uns der lebendige Verkehr mit Menschen im täglichen Leben die Grundlage dieser psychologischen Anschauungen geben muss, dient auch das Studium der Geschichte und der Kunst dazu, sie zu ergänzen und zu bereichern, indem beide uns Menschen in ungewöhnlicheren Umständen handelnd zeigen, und wir an ihnen die ganze Breite der Kräfte ermessen lernen, die in unserer Brust verborgen liegen.

Die genannten Theile der Wissenschaft bringen es der Regel nach nicht bis zur Formulirung streng gültiger allgemeiner Gesetze, mit Ausnahme der Grammatik. Die Gesetze der Grammatik sind durch menschlichen Willen festgestellt, wenn sie auch nicht gerade in bewusster Absicht und nach einem überdachten Plane gegeben wurden, vielmehr sich allmälig nach dem Bedürfnisse entwickelt haben. Sie treten daher demjenigen, welcher die Sprache erlernt, gegenüber als Gebote, als Gesetze, die durch eine fremde Autorität festgestellt sind.

An die historischen und philologischen Wissenschaften schliessen sich Theologie und Jurisprudenz an, deren Vorbereitungsstudien und Hilfswissenschaften ja wesentlich dem Kreise jener Studien angehören. Die allgemeinen Gesetze, welche wir in beiden finden, sind ebenfalls Gebote, Gesetze, welche durch fremde Autorität für den Glauben und das Handeln in moralischer und juristischer Beziehung gegeben sind, nicht Gesetze, welche, wie die Naturgesetze, die Verallgemeinerung einer Fülle von Thatsachen enthielten. Aber wie bei der Anwendung eines Naturgesetzes auf einen gegebenen Fall, geschieht auch die Subsumtion unter die grammatikalischen, juristischen, moralischen und dogmatischen Gebote in der Form des bewussten logischen Schliessens. Das Gebot bildet den Major eines solchen Schlusses, der Minor muss festsetzen, ob der zu beurtheilende Fall die Bedingungen an sich trägt, für welche das Gebot gegeben ist. Die Lösung dieser letzteren Aufgabe wird nun allerdings sowohl bei der grammatikalischen Analyse, welche den Sinn des auszusprechenden Satzes deutlich machen soll, wie bei der juristischen Beurtheilung der Glaubwürdigkeit des Thatbestandes oder der Absichten der handelnden Personen oder des Sinns der von ihnen erlassenen Schrift-

Digitized by Google

stücke meist nur wieder eine Sache der psychologischen Anschauung sein. Dagegen lässt sich nicht verkennen, dass sowohl die Syntax der ausgebildeten Sprachen, als auch das durch mehr als 2000jährige Praxis allmälig verfeinerte System unserer Rechtswissenschaft einen hohen Grad logischer Vollständigkeit und Consequenz erlangt haben, so dass im Ganzen die Fälle, welche sich nicht klar unter eines der gegebenen Gesetze schicken wollen, zu den Ausnahmen gehören. Freilich werden solche immer bestehen bleiben, da die von Menschen hingestellten Gesetzgebungen niemals die Folgerichtigkeit und Vollständigkeit der Naturgesetze haben möchten. In solchen Fällen bleibt dann freilich nichts übrig, als dass man die Absicht des Gesetzgebers aus der Analogie und Consequenz der für ähnliche Fälle gegebenen Bestimmungen zu errathen, beziehentlich zu ergänzen sucht.

Das grammatische und juristische Studium haben einen gewissen Vortheil als Bildungsmittel des Geistes dadurch, dass die verschiedenen Arten geistiger Thätigkeit ziemlich gleichmässig durch sie in Anspruch genommen werden. Desshalb ist auch die höhere Schulbildung der neueren europäischen Völker überwiegend auf das Studium fremder Sprachen mittels der Grammatik gestützt. Die Muttersprache und fremde Sprachen, welche man allein durch Uebung lernt, nehmen nicht das bewusste logische Denken in Anspruch; wohl aber kann man an ihnen das Gefühl für künstlerische Schönheit des Ausdrucks üben. Die beiden classischen Sprachen, Griechisch und Lateinisch, haben neben ihrer ausserordentlich feinen künstlerischen und logischen Ausbildung den Vorzug, den die meisten alten und ursprünglichen Sprachen zu theilen scheinen, dass sie durch sehr volle und deutlich unterschiedene Flexionsformen das grammatikalische Verhältniss der Worte und der Sätze zu einander genau bezeichnen. Durch langen Gebrauch werden die Sprachen abgeschliffen, die grammatikalischen Bezeichnungen im Interesse praktischer Kürze und Schnelligkeit auf das nothwendigste zurückgeführt und dadurch unbestimmter gemacht. Das lässt sich auch an den modernen europäischen Sprachen in Vergleich mit dem Lateinischen deutlich erkennen; am weitesten ist in dieser Richtung des Abschleifens das Englische vorgeschritten. Darin scheint es mir auch wesentlich zu beruhen, dass die modernen Sprachen als Unterrichtsmittel viel weniger geeignet sind, als die älteren.

Wie die Jugend an der Grammatik gebildet wird, so benutzt man mit Recht das juristische Studium aus ähnlichen Gründen

Digitized by Google

als Bildungsmittel für ein reiferes Lebensalter, auch wo es nicht unmittelbar durch die praktischen Zwecke des Berufes gefordert wird.

Das entgegengesetzte Extrem von den philologisch-historischen Wissenschaften bieten nun in Bezug auf die Art geistiger Arbeit die Naturwissenschaften dar. Nicht als ob nicht auch in manchen Gebieten dieser Wissenschaften ein instinctives Gefühl für Analogien und ein gewisser künstlerischer Tact eine Rolle zu spielen hätten. In den naturhistorischen Fächern ist im Gegentheile die Beurtheilung, welche Kennzeichen der Arten als wichtig für die Systematik, welche als unwichtig zu betrachten seien, welche Abtheilungen der Thier- und Pflanzenwelt natürlicher seien als andere, wesentlich nur einem solchen Tacte überlassen, der ohne genau definirbare Regel verfährt. Bezeichnend ist es auch, dass zu den vergleichend anatomischen Untersuchungen über die Analogie entsprechender Organe verschiedener Thiere und zu der analogen Lehre von der Metamorphose der Blätter im Pflanzenreich ein Künstler, nämlich Göthe, den Anstoss gegeben hat, und dass durch ihn die wesentliche Richtung vorgezeichnet wurde, welche die vergleichende Anatomie seit jener Zeit genommen hat. Aber selbst in diesen Fächern, wo wir es noch mit den unverstandensten Wirkungen der Lebensvorgänge zu thun haben, ist es im Allgemeinen viel leichter, allgemeine umfassende Begriffe und Sätze aufzufinden und scharf auszusprechen, als wo wir unser Urtheil auf die Analyse von Seelenthätigkeiten gründen müssen. In vollem Maasse ausgeprägt zeigt sich der besondere wissenschaftliche Charakter der Naturwissenschaften erst in den experimentirenden und mathematisch ausgebildeten Fächern, am meisten in der reinen Mathematik.

Der wesentliche Unterschied dieser Wissenschaften beruht, wie mir scheint, darauf, dass es in ihnen verhältnissmässig leicht ist, die Einzelfälle der Beobachtung und Erfahrung zu allgemeinen Gesetzen von unbedingter Gültigkeit und ausserordentlich umfassendem Umfange zu vereinigen, während gerade dieses Geschäft in den zuerst besprochenen Wissenschaften unüberwindliche Schwierigkeiten darzubieten pflegt. Ja in der Mathematik sind die ersten allgemeinen Sätze, welche sie als Axiome an die Spitze stellt, von so geringer Zahl, so unendlichem Umfange und solcher unmittelbaren Evidenz, dass man gar keinen Beweis für sie zu geben braucht. Man bedenke, dass die ganze reine Mathematik (Arithmetik) entwickelt ist aus den drei Axiomen:

Digitized by Google

„Wenn zwei Grössen einer dritten gleich sind, sind sie unter sich gleich."

„Gleiches zu Gleichem addirt giebt Gleiches."

„Ungleiches zu Gleichem addirt giebt Ungleiches."

Nicht zahlreicher sind die Axiome der Geometrie und der theoretischen Mechanik. Die genannten Wissenschaften entwickeln sich aus diesen wenigen Fordersätzen, indem man die Folgerungen aus den letzteren in immer verwickelteren Fällen zieht. Die Arithmetik beschränkt sich nicht darauf, die mannigfaltigsten Aggregate einer endlichen Zahl von Grössen zu addiren, sie lehrt in der höheren Analysis sogar unendlich viele Summanden zu addiren, deren Grösse nach den verschiedensten Gesetzen wächst oder abnimmt, also Aufgaben zu lösen, die auf directem Wege niemals würden zu Ende geführt werden können. Hier sehen wir die bewusste logische Thätigkeit unseres Geistes in ihrer reinsten und vollendetsten Form; wir können hier die ganze Mühe derselben kennen lernen, die grosse Vorsicht, mit der sie vorschreiten muss, die Genauigkeit, welche nöthig ist, um den Umfang der gewonnenen allgemeinen Sätze genau zu bestimmen, die Schwierigkeit abstracte Begriffe zu bilden und zu verstehen, aber ebenso auch Vertrauen fassen lernen in die Sicherheit, Tragweite und Fruchtbarkeit solcher Gedankenarbeit.

Letztere tritt nun noch auffälliger in den angewandten mathematischen Wissenschaften hervor, namentlich in der mathematischen Physik, zu welcher auch die physische Astronomie zu rechnen ist. Nachdem Newton einmal aus der mechanischen Analyse der Planetenbewegungen erkannt hat, dass alle wägbare Materie in der Entfernung sich anzieht mit einer Kraft, die dem Quadrate des Abstands umgekehrt proportional ist, so genügt dieses eine einfache Gesetz, um die Bewegungen der Planeten vollständig und mit grösster Genauigkeit zu berechnen in die fernsten Fernen der Vergangenheit und Zukunft hinaus, wenn nur Ort, Geschwindigkeit und Masse aller einzelnen Körper unseres Systems für irgend einen beliebigen Zeitpunkt gegeben sind; ja wir erkennen das Wirken derselben Kraft auch in den Bewegungen von Doppelsternen wieder, deren Entfernungen so gross sind, dass das Licht Jahre gebraucht, um von ihnen hierher zu gelangen, zum Theil selbst so gross, dass die Versuche sie zu messen bisher gescheitert sind.

Diese Entdeckung des Gravitationsgesetzes und seiner Consequenzen ist die imponirendste Leistung, deren die logische Kraft

Digitized by Google

des menschlichen Geistes jemals fähig gewesen ist. Ich will nicht sagen, dass nicht Männer mit ebenso grosser oder grösserer Kraft der Abstraction gelebt hätten, als Newton und die übrigen Astronomen, welche seine Entdeckung theils vorbereitet, theils ausgebeutet haben; aber es hat sich niemals ein so geeigneter Stoff dargeboten, als die verwirrten und verwickelten Planetenbewegungen, die vorher bei den ungebildeten Beschauern nur astrologischen Aberglauben genährt hatten, und nun unter ein Gesetz gebracht wurden, welches im Stande war, von den kleinsten Einzelheiten ihrer Bewegungen die genaueste Rechenschaft abzulegen.

An diesem grössesten Beispiele und nach seinem Muster haben sich nun auch eine Reihe von anderen Zweigen der Physik entwickelt, unter denen namentlich die Optik und die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus zu nennen sind. Die experimentirenden Wissenschaften haben bei der Aufsuchung der allgemeinen Naturgesetze den grossen Vortheil vor den beobachtenden voraus, dass sie willkürlich die Bedingungen verändern können, unter denen der Erfolg eintritt, und sich deshalb auf eine nur kleine Zahl charakteristischer Fälle der Beobachtung beschränken dürfen, um das Gesetz zu finden. Die Gültigkeit des Gesetzes muss dann freilich auch an verwickelteren Fällen geprüft werden. So sind die physikalischen Wissenschaften, nachdem einmal die richtigen Methoden gefunden waren, verhältnissmässig schnell fortgeschritten. Sie haben uns nicht nur fähig gemacht, Blicke in die Urzeit zu werfen, in der die Weltennebel zu Gestirnen sich zusammenballten und durch die Gewalt ihres Zusammendrängens glühend wurden, nicht nur erlaubt, die chemischen Bestandtheile der Sonnenatmosphäre zu erforschen — die Chemie der fernsten Fixsterne wird wahrscheinlich nicht lange auf sich warten lassen[1]) — sondern sie haben uns auch gelehrt, die Kräfte der uns umgebenden Natur zu unserem Nutzen auszubeuten und unserem Willen dienstbar zu machen.

Aus dem Gesagten wird nun schon erhellen, wie verschiedenartig die geistige Thätigkeit ihrem grössten Theile nach in diesen letzteren Wissenschaften sei von der der früheren. Der Mathe-

---

[1]) Bekanntlich ist eine Fülle interessanter Entdeckungen in dieser Beziehung schon gemacht worden, seit der ersten im April 1864 veröffentlichten Arbeit von W. Huggins und W. A. Miller, in der die Analyse der Atmosphären des Aldebaran und α Orionis gegeben und leuchtender Wasserstoff in den Nebelflecken nachgewiesen wurde.

Digitized by Google

matiker braucht gar kein Gedächtniss für einzelne Thatsachen, der Physiker sehr wenig davon zu haben. Die auf Erinnerung ähnlicher Fälle gebauten Vermuthungen können wohl nützlich sein, um zuerst auf eine richtige Spur zu bringen; Werth bekommen sie erst, wenn sie zu einem streng formulirten und genau begrenzten Gesetze geführt haben. Der Natur gegenüber besteht kein Zweifel, dass wir es mit einem ganz strengen Causalnexus zu thun haben, der keine Ausnahmen zulässt. Deshalb ergeht an uns auch die Forderung fortzuarbeiten, bis wir ausnahmslose Gesetze gefunden haben; eher dürfen wir uns nicht beruhigen, erst in dieser Form erhalten unsere Kenntnisse die siegende Kraft über Raum und Zeit und Naturgewalt.

Die eiserne Arbeit des selbstbewussten Schliessens erfordert grosse Hartnäckigkeit und Vorsicht, sie geht in der Regel nur sehr langsam vor sich und wird selten durch schnelle Geistesblitze gefördert. Es ist bei ihr wenig zu finden von der schnellen Bereitwilligkeit, mit der die verschiedensten Erfahrungen dem Gedächtnisse des Historikers oder Philologen zuströmen müssen. Im Gegentheil ist die wesentliche Bedingung für den methodischen Fortschritt des Denkens, dass der Gedanke auf einen Punkt concentrirt bleibe, ungestört von Nebendingen, ungestört auch von Wünschen und von Hoffnungen, und nur nach seinem eigenen Willen und Entschlusse fortschreite. Ein berühmter Logiker, Stuart Mill, erklärt es als seine Ueberzeugung, dass die inductiven Wissenschaften in der neuesten Zeit mehr für die Fortschritte der logischen Methoden gethan hätten, als die Philosophen von Fach. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt gewiss in dem Umstande, dass in keinem Gebiete des Wissens ein Fehler in der Gedankenverbindung sich so leicht durch die Falschheit der Resultate zu erkennen giebt, als in diesen Wissenschaften, wo wir die Resultate der Gedankenarbeit meist direct mit der Wirklichkeit vergleichen können.

Indem ich hier die Behauptung aufgestellt habe, dass namentlich in den mathematisch ausgebildeten Theilen der Naturwissenschaften die Lösung der wissenschaftlichen Aufgaben ihrem Ziele näher gekommen ist, als im Allgemeinen in den übrigen Wissenschaften, so, hoffe ich, glauben Sie nicht, dass ich diese jenen gegenüber herabsetzen will. Wenn die Naturwissenschaften die grössere Vollendung in der wissenschaftlichen Form voraushaben, so haben die Geisteswissenschaften vor ihnen voraus, dass sie einen reicheren, dem Interesse des Menschen und seinem Ge-

Digitized by Google

fühle näher liegenden Stoff zu behandeln haben, nämlich den menschlichen Geist selbst in seinen verschiedenen Trieben und Thätigkeiten. Sie haben die höhere und schwerere Aufgabe, aber es ist klar, dass ihnen das Beispiel derjenigen Zweige des Wissens nicht verloren gehen darf, welche des leichter zu bezwingenden Stoffes wegen in formaler Beziehung weiter vorwärts geschritten sind. Sie können von ihnen in der Methode lernen und von dem Reichthum ihrer Ergebnisse sich Ermuthigung holen. Auch glaube ich in der That, dass unsere Zeit schon mancherlei von den Naturwissenschaften gelernt hat. Die unbedingte Achtung vor den Thatsachen und Treue in ihrer Sammlung, ein gewisses Misstrauen gegen den sinnlichen Schein, das Streben, überall nach einem Causalnexus zu suchen und einen solchen vorauszusetzen, wodurch sich unsere Zeit von früheren unterscheidet, scheinen auf einen solchen Einfluss hinzudeuten.

In wie fern den mathematischen Studien, als den Repräsentanten der selbstbewussten logischen Geistesthätigkeit, ein grösserer Einfluss in der Schulbildung eingeräumt werden müsse, will ich hier nicht erörtern. Es ist dies wesentlich eine Frage der Zeit. In dem Maasse, als der Umfang der Wissenschaft sich erweitert, muss auch ihre Systematisirung und Organisation verbessert werden, und es wird nicht fehlen können, dass sich auch die Individuen genöthigt sehen werden, strengere Schulen des Denkens durchzumachen, als die Grammatik zu gewähren im Stande ist. Was mir in eigener Erfahrung bei den Schülern, die aus unseren grammatischen Schulen zu naturwissenschaftlichen und medicinischen Studien übergehen, aufzufallen pflegt, ist erstens eine gewisse Laxheit in der Anwendung streng allgemeingültiger Gesetze. Die grammatischen Regeln, an denen sie sich geübt haben, sind in der That meist mit langen Verzeichnissen von Ausnahmen versehen; sie sind desshalb nicht gewöhnt, auf die Sicherheit einer legitimen Consequenz eines streng allgemeinen Gesetzes unbedingt zu trauen. Zweitens finde ich sie meist zu sehr geneigt, sich auf Autoritäten zu stützen, auch wo sie sich ein eigenes Urtheil bilden könnten. In den philologischen Studien wird in der That der Schüler, weil er selten das ganze Material übersehen kann, und weil die Entscheidung oft von dem ästhetischen Gefühl für die Schönheit des Ausdrucks und den Genius der Sprache abhängt, welches längere Ausbildung erfordert, auch von den besten Lehrern auf Autoritäten verwiesen werden müssen. Beide Fehler beruhen auf einer gewissen Trägheit und Unsicherheit des Den-

Digitized by Google

kens, die nicht blos späteren naturwissenschaftlichen Studien schädlich sein wird. Gegen beides sind aber gewiss mathematische Studien das beste Heilmittel; da giebt es absolute Sicherheit des Schliessens, und da herrscht keine Autorität als die des eigenen Verstandes.

So viel über die verschiedenen sich gegenseitig ergänzenden Richtungen der geistigen Arbeit in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft.

Das Wissen allein ist aber nicht Zweck des Menschen auf der Erde. Obgleich die Wissenschaften die feinsten Kräfte des menschlichen Geistes erwecken und ausbilden, so wird doch derjenige keine rechte Ausfüllung seines Daseins auf Erden finden, welcher nur studiren wollte, um zu wissen. Wir sehen oft genug reich begabte Männer, denen ihr Glück oder Unglück eine behagliche äussere Existenz zugeworfen hat, ohne ihnen zugleich den Ehrgeiz oder die Energie zum Wirken mitzutheilen, ein gelangweiltes und unbefriedigtes Leben dahinschleppen, während sie dem edelsten Lebenszwecke zu folgen glauben in fortdauernder Sorge für Vermehrung ihres Wissens und weitere Bildung ihres Geistes. Nur das Handeln giebt dem Manne ein würdiges Dasein; also entweder die praktische Anwendung des Gewussten, oder die Vermehrung der Wissenschaft selbst muss sein Zweck sein. Denn auch das letztere ist ein Handeln für den Fortschritt der Menschheit. Damit gehen wir denn über zu dem zweiten Bande, welches die Arbeit der verschiedenen Wissenschaften miteinander verknüpft, nämlich der Verbindung des Inhalts derselben.

Wissen ist Macht. Keine Zeit kann diesen Grundsatz augenfälliger darlegen als die unsere. Die Naturkräfte der unorganischen Welt lehren wir den Bedürfnissen des menschlichen Lebens und den Zwecken des menschlichen Geistes zu dienen. Die Anwendung des Dampfes hat die Körperkraft der Menschen in das Tausendfache und Millionenfache vermehrt; Webe- und Spinnmaschinen haben solche Arbeiten übernommen, deren einziges Verdienst geisttödtende Regelmässigkeit ist. Der Verkehr der Menschen untereinander mit seinen gewaltig eingreifenden materiellen und geistigen Folgen ist in einer Weise gesteigert, wie es sich Niemand auch nur hätte träumen lassen können in der Zeit, wo die Aelteren von uns ihr Leben begannen. Es sind aber nicht nur die Maschinen, durch welche die Menschenkräfte vervielfältigt werden; es sind nicht nur die gezogenen Gussstahlkanonen und Panzerschiffe, die Vorräthe an Lebensmitteln und Geld, auf denen

Digitized by Google

die Macht einer Nation beruht, obgleich diese Dinge so unzweifelhaft deutlich ihren Einfluss gezeigt haben, dass auch die stolzesten und unnachgiebigsten absoluten Regierungen unserer Zeit daran haben denken müssen, die Industrie zu entfesseln und den politischen Interessen der arbeitenden bürgerlichen Classen eine berechtigte Stimme in ihrem Rathe einzuräumen. Es ist auch die politische und rechtliche Organisation des Staates, die moralische Disciplin der Einzelnen, welche das Uebergewicht der gebildeten Nationen über die ungebildeten bedingt, und die letzteren, wo sie die Cultur nicht anzunehmen wissen, einer unausbleiblichen Vernichtung entgegenführt. Hier greift alles ineinander. Wo kein fester Rechtszustand ist, wo die Interessen der Mehrzahl des Volkes sich nicht in geordneter Weise geltend machen können, da ist auch Entwickelung des Nationalreichthums und der darauf beruhenden Macht unmöglich; und zum rechten Soldaten wird nur der werden können, welcher unter gerechten Gesetzen das Ehrgefühl eines selbständigen Mannes auszubilden gelernt hat, nicht der den Launen eines eigenwilligen Gebieters unterworfene Sclave.

Daher ist denn auch jede Nation als Ganzes schon durch die alleräusserlichsten Zwecke der Selbsterhaltung, auch ohne auf höhere ideale Forderungen Rücksicht zu nehmen, nicht nur an der Ausbildung der Naturwissenschaften und ihrer technischen Anwendung interessirt, sondern ebensogut an der Ausbildung der politischen, juristischen und moralischen Wissenschaften, und aller derjenigen historischen und philologischen Hilfsfächer, die diesen dienen. Keine, welche selbständig und einflussreich bleiben will, darf zurückbleiben. Auch fehlt diese Erkenntniss bei den cultivirten Völkern Europa's nicht. Die öffentlichen Mittel, welche den Universitäten, Schulen und wissenschaftlichen Anstalten zugewendet werden, übertreffen alles, was in früheren Zeiten dafür geleistet werden konnte. — Auch wir haben uns in diesem Jahre wieder einer neuen reichlichen Dotation von Seiten unserer Regierung und unserer Kammern zu rühmen [1]). — Ich sprach in der Einleitung von der wachsenden Theilung und Organisation der wissenschaftlichen Arbeit. In der That bilden die Männer der Wissenschaft eine Art organisirter Armee, welche zum Besten der ganzen Nation, und meistentheils ja auch in deren Auftrag

[1]) Es waren die Mittel zur Ausführung eines grossen Neubaus für naturwissenschaftliche Institute, kleinere Summen für die Krankenhäuser und die zoologische Sammlung bewilligt worden.

Digitized by Google

und auf deren Kosten, die Kenntnisse zu vermehren sucht, welche zur Steigerung der Industrie, des Reichthums, der Schönheit des Lebens, zur Verbesserung der politischen Organisation und der moralischen Entwickelung der Individuen dienen können. Nicht nach dem unmittelbaren Nutzen freilich darf dabei gefragt werden, wie es Ununterrichtete so oft thun. Alles was uns über die Naturkräfte oder die Kräfte des menschlichen Geistes Aufschluss giebt, ist werthvoll und kann zu seiner Zeit Nutzen bringen, gewöhnlich an einer Stelle, wo man es am allerwenigsten vermuthet hätte. Wem konnte es einfallen, als Galvani Froschschenkel mit verschiedenartigen Metallen berührte und sie zucken sah, dass 80 Jahre später Europa mit Drähten durchzogen sein würde, welche Nachrichten mit Blitzesschnelle von Madrid nach Petersburg trugen mittels desselben Vorgangs, dessen erste Aeusserungen der genannte Anatom beobachtete! Die elektrischen Ströme waren in seinen und anfangs auch noch in Volta's Händen Vorgänge, die nur die allerschwächsten Kräfte ausübten und nur durch die allerzartesten Beobachtungsmittel wahrgenommen werden konnten. Hätte man sie liegen lassen, weil ihre Untersuchung keinen Nutzen versprach, so würden in unserer Physik die wichtigsten und interessantesten Verknüpfungen der verschiedenartigen Naturkräfte untereinander fehlen. Als der junge Galilei, als Student, in Pisa während des Gottesdienstes eine schaukelnde Lampe beobachtete und sich durch Abzählen seines Pulses überzeugte, dass die Dauer der Schwingungen unabhängig von der Grösse der Schwingungsbögen war, wer konnte sich denken, dass diese Entdeckung dazu führen würde, mittels der Pendeluhren eine damals für unmöglich gehaltene Feinheit der Zeitmessung zu erreichen, die es dem von Stürmen verschlagenen Seefahrer in den entferntesten Gewässern der Erde möglich machen würde zu erkennen, auf welchem Längengrade er sich befinde!

Wer bei der Verfolgung der Wissenschaften nach unmittelbarem praktischen Nutzen jagt, kann ziemlich sicher sein, dass er vergebens jagen wird. Vollständige Kenntniss und vollständiges Verständniss des Waltens der Natur- und Geisteskräfte ist es allein, was die Wissenschaft erstreben kann. Der einzelne Forscher muss sich belohnt sehen durch die Freude an neuen Entdeckungen, als neuen Siegen des Gedankens über den widerstrebenden Stoff, durch die ästhetische Schönheit, welche ein wohlgeordnetes Gebiet von Kenntnissen gewährt, in welchem geistiger Zusammenhang zwischen allen einzelnen Theilen stattfindet, eines

Digitized by Google

aus dem andern sich entwickelt und alles die Spuren der Herrschaft des Geistes zeigt; er muss sich belohnt sehen durch das Bewusstsein, auch seinerseits zu dem wachsenden Capital des Wissens beigetragen zu haben, auf welchem die Herrschaft der Menschheit über die dem Geiste feindlichen Kräfte beruht. Er wird freilich nicht immer erwarten dürfen auch äussere Anerkennung und Belohnung zu empfangen, die dem Werthe seiner Arbeit entspräche. Es ist wohl wahr, dass so Mancher, dem man nach seinem Tode ein Monument gesetzt hat, glücklich gewesen wäre, hätte man ihm während seines Lebens den zehnten Theil der dazu verwendeten Geldmittel eingehändigt. Indessen dürfen wir nicht verkennen, dass der Werth wissenschaftlicher Entdeckungen gegenwärtig von der öffentlichen Meinung viel bereitwilliger anerkannt wird als früher, und dass solche Fälle, wo die Urheber bedeutender wissenschaftlicher Fortschritte darben mussten, immer seltener und seltener geworden sind; dass im Gegentheile die Regierungen und Völker Europa's im Ganzen der Pflicht sich bewusst geworden sind, ausgezeichnete Leistungen in der Wissenschaft durch entsprechende Stellungen oder durch besonders ausgeworfene Nationalbelohnungen zu vergelten.

So haben in dieser Beziehung die Wissenschaften einen gemeinsamen Zweck, den Geist herrschend zu machen über die Welt. Während die Geisteswissenschaften direct daran arbeiten den Inhalt des geistigen Lebens reicher und interessanter zu machen, das Reine vom Unreinen zu sondern, so streben die Naturwissenschaften indirect nach demselben Ziele, indem sie den Menschen von den auf ihn eindrängenden Nothwendigkeiten der Aussenwelt mehr und mehr zu befreien suchen. Jeder einzelne Forscher arbeitet in seinem Theile, er wählt sich diejenigen Aufgaben, denen er vermöge seiner geistigen Anlage und seiner Bildung am meisten gewachsen ist. Jeder einzelne muss aber wissen, dass er nur im Zusammenhange mit den Andern das grosse Werk weiter zu fördern im Stande ist, und dass er desshalb auch verpflichtet ist die Ergebnisse seiner Arbeit den übrigen möglichst vollständig und leicht zugänglich zu machen. Dann wird er Unterstützung finden bei den Andern und wird ihnen wieder seine Unterstützung leihen können. Die Annalen der Wissenschaft sind reich an Beweisen solchen Wechselverhältnisses, was zwischen den scheinbar entlegensten Gebieten eingetreten ist. Die historische Chronologie ist wesentlich gestützt auf astronomische Berechnungen von Sonnen- und Mondfinsternissen, von denen die Nachricht

Digitized by Google

in den alten Geschichtsbüchern aufbewahrt ist. Umgekehrt beruhen manche wichtige Data der Astronomie, z. B. die Unveränderlichkeit der Tageslänge, die Umlaufszeit mancher Cometen auf alten historischen Nachrichten. Neuerdings haben es die Physiologen, unter ihnen namentlich Brücke, unternehmen können, das vollständige System der von den menschlichen Sprachwerkzeugen zu bildenden Buchstaben aufzustellen und darauf Vorschläge zu einer allgemeinen Buchstabenschrift zu gründen, welche für alle menschlichen Sprachen passt. Hier ist also die Physiologie in den Dienst der allgemeinen Sprachwissenschaft getreten und hat schon die Erklärung mancher sonderbar scheinenden Lautumwandlungen geben können, indem diese nicht, wie man bisher es auszudrücken pflegte, durch die Gesetze der Euphonie, sondern durch die Aehnlichkeit der Mundstellungen bedingt waren. Die allgemeine Sprachwissenschaft giebt wiederum Kunde von den uralten Verwandtschaften, Trennungen und Wanderungen der Volksstämme in vorgeschichtlicher Zeit, und von dem Grade der Cultur, den sie zur Zeit ihrer Trennung erlangt hatten. Denn die Namen derjenigen Gegenstände, die sie damals schon zu benennen wussten, finden sich in den späteren Sprachen gemeinsam wieder. So liefert also das Studium der Sprachen historische Nachrichten aus Zeiten, für welche sonst kein historisches Document existirt. Ich erinnere ferner an die Hülfe, welche der Anatom dem Bildhauer leisten kann, wie dem Archäologen, welcher alte Sculpturwerke untersucht. Ist es mir erlaubt eigener neuester Arbeiten hier zu gedenken, so will ich noch erwähnen, dass es möglich ist, durch die Physik des Schalls und die Physiologie der Tonempfindungen die Elemente der Construction unseres musikalischen Systems zu begründen, welche Aufgabe wesentlich in das Fach der Aesthetik hineingehört. Die Physiologie der Sinnesorgane überhaupt tritt in engste Verbindung mit der Psychologie, indem sie in den Sinneswahrnehmungen die Resultate psychischer Processe nachweist, welche nicht in das Bereich des auf sich selbst reflectirenden Bewusstseins fallen und desshalb nothwendig der psychologischen Selbstbeobachtung verborgen bleiben mussten.

Ich konnte hier nur die auffälligsten, mit wenigen Worten leicht zu bezeichnenden Beispiele solchen Ineinandergreifens Ihnen anführen und musste dazu die Beziehungen zwischen möglichst fern stehenden Wissenschaften wählen. Aber viel ausgedehnter natürlich ist der Einfluss, welchen jede Wissenschaft auf die ihr

Digitized by Google

nächst verwandten ausübt; dieser ist selbstverständlich, von ihm brauche ich nicht zu reden, jeder von Ihnen kennt ihn aus eigener Erfahrung.

So also betrachte sich jeder Einzelne als einen Arbeiter an einem gemeinsamen grossen Werke, welches die edelsten Interessen der ganzen Menschheit berührt, nicht als einen, der zur Befriedigung seiner eigenen Wissbegier oder seines eigenen Vortheils oder um mit seinen eigenen Fähigkeiten zu glänzen sich bemüht, dann wird ihm auch das eigene lohnende Bewusstsein und die Anerkennung seiner Mitbürger nicht fehlen. Und gerade diese Beziehung aller Forscher und aller Zweige des Wissens zu einander und zu ihrem gemeinsamen Ziele stets in lebendigem Zusammenwirken zu erhalten, das ist die grosse Aufgabe der Universitäten; darum ist es nöthig, dass an ihnen die vier Facultäten stets Hand in Hand gehen, und in diesem Sinne wollen wir uns bemühen, so weit es an uns ist, dieser grossen Aufgabe nachzustreben.

Digitized by Google

Digitized by Google

ÜBER DIE

ERHALTUNG DER KRAFT.

Einleitung

eines

Cyclus von Vorlesungen,

gehalten

in

Carlsruhe während des Winters

1862 auf 1863.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

Indem ich es übernommen habe, vor Ihnen hier eine Reihe von Vorträgen zu halten, betrachte ich es als meine wesentlichste Aufgabe, Ihnen, so gut ich es kann, an einem passend gewählten Beispiele eine Anschauung von dem eigenthümlichen Charakter derjenigen Wissenschaften zu geben, deren Studium ich mich gewidmet habe. Die Naturwissenschaften haben theils durch ihre praktischen Anwendungen, theils durch ihren geistigen Einfluss in den letzten vier Jahrhunderten sämmtliche Verhältnisse des Lebens der civilisirten Nationen in so hohem Grade und mit so steigender Geschwindigkeit umgeformt, sie haben diesen Nationen so viel Zuwachs an Reichthum, Lebensgenuss, Sicherung der Gesundheit, an Mitteln des industriellen und geselligen Verkehrs, selbst an politischer Macht gegeben, dass jeder Gebildete, welcher die treibenden Kräfte der Welt, in der er lebt, zu verstehen sucht, wenn er sich auch nicht in das Studium der Specialitäten vertiefen mag, doch am Ende Interesse für die eigenthümliche Art der geistigen Arbeit haben muss, die in den genannten Wissenschaften wirkt und schafft.

Ich habe die charakteristischen Unterschiede in der Art der wissenschaftlichen Arbeit, die zwischen den Natur- und Geisteswissenschaften bestehen, schon bei einer früheren Gelegenheit erörtert [1]. Ich habe dort zu zeigen versucht, dass es namentlich die durchgreifende und verhältnissmässig leicht darzulegende Gesetzlichkeit der Naturerscheinungen und Naturproducte ist, die den Unterschied bedingt. Nicht als ob ich die Gesetzlichkeit der Erscheinungen des psychischen Lebens in den Individuen und Völ-

[1]) Siehe die Vorlesung über das Verhältniss der Naturwissenschaft zur Gesammtheit der Wissenschaft. (Seite 117 dieses Bandes.)

Digitized by Google

kern damit leugnen wollte, wie sie das Object der philosophischen, philologischen, historischen, moralischen, socialen Wissenschaften ausmachen. Aber im geistigen Leben ist das Gewebe der in einander greifenden Einflüsse so verwickelt, dass eine klare Gesetzlichkeit desselben nur selten bestimmt nachzuweisen ist. Umgekehrt in der Natur. Für viele ungeheuer ausgedehnte Reihen von Naturerscheinungen ist es gelungen das Gesetz ihres Ursprungs und Ablaufs so genau und vollständig aufzufinden, dass wir mit der grössten Sicherheit auch ihren künftigen Eintritt voraussagen, oder wo wir über die Bedingungen ihres Eintritts Gewalt haben, sie genau nach unserem Willen ablaufen lassen können. Das grösste aller Beispiele dafür, wieviel der menschliche Verstand mittels eines wohlerkannten Gesetzes den Naturerscheinungen gegenüber leisten kann, ist die moderne Astronomie. Das eine einfache Gravitationsgesetz regiert die Bewegungen der himmlischen Körper nicht nur unseres Planetensystems, sondern auch die weit entfernter Doppelsterne, von denen selbst der schnellste aller Boten, der Lichtstrahl, Jahre braucht, ehe er zu unserem Auge kommt; und eben wegen dieser einfachen Gesetzlichkeit lassen sich die Bewegungen der genannten Körper, trotz aller Complication der Rechnung, bis auf Bruchtheile einer Minute genau voraus- und zurückberechnen, auf Jahre, selbst Jahrhunderte hinaus. Auf dieser genauen Gesetzlichkeit beruht ebenso die Sicherheit, mit der wir die ungestüme Kraft des Dampfes zu zähmen und zum gehorsamen Diener unserer Bedürfnisse zu machen wissen. Auf dieser Gesetzlichkeit ferner beruht auch wesentlich das geistige Interesse, welches den Naturforscher an seinen Gegenstand fesselt. Es ist ein Interesse anderer Art als in den Geisteswissenschaften. In den letzteren ist es der Mensch in den verschiedenen Richtungen seiner geistigen Thätigkeit, der uns fesselt. Jede grosse That, von der uns die Geschichte erzählt, jede mächtige Leidenschaft, welche die Kunst darstellt, jede Schilderung der Sitten, der staatlichen Einrichtungen, der Bildung von Völkern ferner Länder oder ferner Zeiten ergreift und interessirt uns, auch wenn wir sie nicht gerade im Zusammenhange der Wissenschaft kennen lernen. Wir finden stets Punkte zur Anknüpfung und Vergleichung in unseren eigenen Vorstellungen und Gefühlen; wir lernen dabei die verborgenen Fähigkeiten und Triebe unserer eigenen Seele kennen, die im gewöhnlichen ruhigen Verlaufe eines civilisirten Lebens unerweckt bleiben.

Es ist nun nicht zu verkennen, dass diese Art des Interesses den Resultaten der Naturforschung abgeht. Jede einzelne That-

Digitized by Google

sache für sich genommen, kann allenfalls unsere Neugier, unser Staunen erregen oder uns nützlich sein für praktische Anwendung. Eine geistige Befriedigung gewährt erst der Zusammenhang des Ganzen, eben durch seine Gesetzlichkeit. Wir nennen Verstand das uns inne wohnende Vermögen, Gesetze zu finden und denkend anzuwenden. Für die Entfaltung der eigenthümlichen Kräfte des reinen Verstandes nach ihrer ganzen Sicherheit und ihrer ganzen Tragweite giebt es keinen geeigneteren Tummelplatz, als die Naturforschung im weiteren Sinne, die Mathematik mit eingeschlossen. Und es ist nicht nur die Freude an der erfolgreichen Thätigkeit eines unserer wesentlichsten Geistesvermögen und der siegreichen Unterwerfung der uns theils fremd, theils feindlich gegenüberstehenden Aussenwelt unter die Kräfte unseres Denkens und unseres Willens, welche diese Arbeit lohnend macht; sondern es tritt auch eine Art, ich möchte sagen, künstlerischer Befriedigung ein, wenn wir den ungeheuren Reichthum der Natur als ein gesetzmässig geordnetes Ganze, als Kosmos, als ein Spiegelbild des gesetzmässigen Denkens unseres eigenen Geistes zu überschauen vermögen.

Die letzten Jahrzehnte der naturwissenschaftlichen Entwickelung haben uns zur Erkenntniss eines neuen allgemeinen Gesetzes aller Naturerscheinungen geführt, welches wegen seiner ausserordentlich ausgedehnten Tragweite und wegen des Zusammenhangs, den es zwischen den Naturerscheinungen aller Art, auch der fernsten Zeiten und der fernsten Orte nachweist, besonders geeignet ist Ihnen eine Anschauung von dem beschriebenen Charakter der Naturwissenschaften zu geben, und welches ich deshalb zum Gegenstande dieser Vorlesungen gewählt habe.

Man nennt das besagte Gesetz das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, einen Namen, dessen Sinn ich Ihnen erst noch erklären muss. Es ist nicht absolut neu; für beschränkte Gebiete von Naturerscheinungen war es schon während des vorigen Jahrhunderts von Newton und D. Bernouilli ausgesprochen worden; wesentliche Züge seiner weiteren Ausdehnung in der Wärmelehre hatten Rumford und Humphrey Davy erkannt. Die Möglichkeit seiner allgemeinsten Gültigkeit sprach zuerst ein schwäbischer Arzt, Dr. Julius Robert Mayer (gegenwärtig in Heilbronn lebend) im Jahre 1842[1]), aus, während beinahe gleichzeitig und unab-

[1]) Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur in Liebig's Annalen XLII; weiter ausgeführt in: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845; Beiträge zur Dynamik des Himmels. Ebenda 1848.

Digitized by Google

hängig von ihm der englische Techniker James Prescott Joule in Manchester eine Reihe wichtiger und schwieriger Versuche über das Verhältniss der Wärme zur mechanischen Kraft durchführte, welche dazu dienten, die Hauptlücken, in denen die Vergleichung der neuen Theorie mit der Erfahrung noch mangelhaft war, auszufüllen.

Das Gesetz, von dem die Rede ist, sagt aus, dass die Quantität der in dem Naturganzen vorhandenen wirkungsfähigen Kraft unveränderlich sei, weder vermehrt noch vermindert werden könne. Meine erste Aufgabe wird sein, Ihnen auseinanderzusetzen, was man unter der Quantität der Kraft, oder wie man denselben Begriff populärer mit Beziehung auf seine technischen Anwendungen bezeichnet, was man unter Grösse der Arbeit in mechanischem Sinne versteht.

Der Begriff der Arbeit für Maschinen oder Naturprocesse ist hergenommen aus dem Vergleich mit den Leistungen des Menschen, und wir können uns daher am besten an der Arbeit des Menschen die wesentlichen Verhältnisse anschaulich machen, auf die es hierbei ankommt. Wenn wir von Arbeit der Maschinen und Naturkräfte reden, so müssen wir in diesem Vergleiche natürlich von allem absehen, was an Thätigkeit der Intelligenz sich in die Arbeit des Menschen einmischt. Der letztere ist auch einer harten und angestrengten Arbeit des Denkens fähig, die ebenso gut ermüdet, wie die Arbeit der Muskeln. Was in der Arbeit der Maschinen aber von Wirkungen der Intelligenz vorkommt, gehört natürlich dem Geiste ihres Erbauers an, und kann nicht dem Werkzeuge als Arbeit angerechnet werden.

Die äusserliche Arbeit der Menschen ist nun von der mannigfaltigsten Art, was die Kraft oder Leichtigkeit, die Form und Schnelligkeit der dazu gebrauchten Bewegungen, und die Art der dadurch geförderten Werke betrifft. Aber sowohl der Arm des Grobschmieds, der schwere Schläge mit dem mächtigen Hammer führt, wie der des Violinspielers, der die leisesten Abänderungen des Klanges zu unterhalten weiss, und die Hand der Stickerin, welche mit Fäden, die an der Grenze des Sichtbaren liegen, ihr feines Werk ausführt: sie alle empfangen die Kraft, welche sie bewegt, auf die gleiche Weise und durch dieselben Organe, nämlich durch die im Arm gelegenen Muskeln. Ein Arm, dessen Muskeln gelähmt sind, ist unfähig irgend welche Arbeit zu leisten; es muss die Bewegungskraft der Muskeln in ihm wirksam sein, und diese müssen den ihnen Befehle vom Gehirn zuführenden Nerven

Digitized by Google

gehorchen können; dann ist das Glied der mannigfachsten Fülle von Bewegungen fähig, und kann die mannigfachsten Werkzeuge regieren, um die verschiedenartigsten Werke auszuführen.

Ganz ähnlich verhält es sich mit den Maschinen; sie werden von uns zu den verschiedenartigsten Verrichtungen gebraucht, wir bringen durch sie eine unendliche Mannigfaltigkeit von Bewegungen hervor, mit den verschiedensten Graden von Kraft oder Schnelligkeit, von den mächtigen Hammer- und Walzwerken ab, wo riesige Massen Eisen wie Butter geschnitten und geformt werden, bis zu den Spinn- und Webemaschinen, deren Arbeit mit dem Werke der Spinnen wetteifert. Die moderne Technik besitzt die reichste Auswahl von Mitteln, um die Bewegung umrollender Räder auf andere mit vermehrter oder verminderter Geschwindigkeit zu übertragen; um die rotirenden Bewegungen der Räder in die hin- und hergehenden der Pumpenstempel, der Webeschiffchen, der fallenden Hämmer und Stampfen zu verwandeln, oder umgekehrt letztere in erstere; oder um Bewegungen von gleichförmiger Geschwindigkeit in solche von veränderlicher zu verwandeln und so fort. Dadurch wird eben diese ausserordentlich reiche Anwendbarkeit der Maschinen für so ausserordentlich verschiedene Zweige der Industrie gewonnen. Bei aller Mannigfaltigkeit ist ihnen aber allen eines gemein: sie bedürfen alle einer Triebkraft, die sie in Bewegung setzt und erhält, wie die Werke der menschlichen Hand alle der Bewegungskraft der Muskeln bedürfen.

Nun bedarf die Arbeit des Schmiedes einer viel grösseren und intensiveren Anstrengung der Muskeln, als die des Violinspielers, und dem entsprechen bei den Maschinen ähnliche Unterschiede in der Gewalt und Ausdauer der erforderlichen Bewegungskraft. Diese Unterschiede also, welche dem verschiedenen Grade der Anstrengung der Muskeln bei der menschlichen Arbeit entsprechen, sind es allein, an welche zu denken ist, wenn wir von der Grösse der Arbeit einer Maschine reden. Es wird also bei diesem Begriffe abgesehen von aller Mannigfaltigkeit der Wirkungen und Verrichtungen, die die Maschinen leisten; es ist nur an den Aufwand von Kraft gedacht.

Dieser uns geläufige Ausdruck: „Aufwand von Kraft,“ der also andeutet, dass die verwendete Kraft ausgegeben und verloren wird, führt uns zu einer weiteren charakteristischen Analogie zwischen den Leistungen des menschlichen Arms und denen der Maschinen. Je grösser die Anstrengung, und je länger deren Dauer, desto mehr ermüdet der menschliche Arm, desto mehr wird der

Vorrath seiner Bewegungskraft zeitweise erschöpft. Wir werden sehen, dass diese Eigenheit, durch die Arbeit erschöpft zu werden, auch den Triebkräften der unorganischen Natur zukommt; ja, dass die Ermüdungsfähigkeit des menschlichen Arms nur eine von den Folgen des allgemeinen Gesetzes ist, mit dem wir es zu thun haben. Bei eingetretener Ermüdung ist unseren Muskeln Erholung nöthig, wir gewinnen diese durch Ruhe und Nahrung; wir werden auch bei den unorganischen Triebkräften, wenn ihre Leistungsfähigkeit erschöpft ist, die Möglichkeit der Herstellung finden, wenn auch im Allgemeinen andere Mittel dazu angewendet werden müssen, als für den Arm des Menschen.

Wir können aus dem Gefühle der Anstrengung und Ermüdung unserer Muskeln uns wohl im Allgemeinen eine Anschauung bilden von dem, was unter der Grösse der Arbeit zu verstehen ist; wir müssen aber doch zunächst daran gehen, uns statt der durch diesen Vergleich gegebenen unbestimmten Schätzung einen klaren und scharfen Begriff von dem Maasse zu bilden, nach welchem wir die Grösse der Arbeitskraft zu messen haben.

Das können wir besser an den einfachsten unorganischen Triebkräften, als an den Leistungen unserer Muskeln, die ein äusserst zusammengesetzter Apparat von äusserst verwickelter Wirkungsweise sind.

Lassen wir die uns am besten bekannte und einfachste Kraft, die Schwere, als Triebkraft wirken. Sie wirkt zum Beispiel als solche in denjenigen Wanduhren, welche durch ein Gewicht getrieben werden. Dieses Gewicht, an einem Faden befestigt, der um eine mit dem ersten Zahnrade der Uhr verbundene Rolle geschlungen ist, kann dem Zuge der Schwere nicht folgen, ohne das ganze Uhrwerk dabei in Bewegung zu setzen. Nun bitte ich Sie, auf folgende Punkte hierbei zu achten: Das Gewicht kann die Uhr nicht in Bewegung setzen, ohne dass es dabei mehr und mehr herabsinkt. Wenn es sich selbst nicht bewegte, würde es auch die Uhr nicht bewegen können, und seine Bewegung kann dabei nur eine solche sein, welche dem Zuge der Schwere folgt. Also wenn die Uhr gehen soll, muss das Gewicht sinken immer tiefer und tiefer, endlich so weit sinken, dass die Schnur, die es trägt, abgelaufen ist; dann bleibt die Uhr stehen, dann ist die Leistungsfähigkeit ihres Gewichts vorläufig erschöpft. Seine Schwere ist nicht verloren oder vermindert, es wird nach wie vor in gleichem Maasse von der Erde angezogen, aber die Fähigkeit dieser Schwere, Bewegungen des Uhrwerks hervorzubringen, ist verloren gegangen;

Digitized by Google

sie kann das Gewicht jetzt nur noch in dem tiefsten Punkte seiner Bahn ruhig festhalten, sie kann es nicht weiter in Bewegung setzen.

Wir können aber die Uhr aufziehen durch die Kraft unseres Arms, wobei das Gewicht wieder emporgehoben wird. So wie das geschehen ist, hat es seine frühere Leistungsfähigkeit wieder erlangt, und kann die Uhr wieder in Bewegung erhalten.

Wir lernen daraus, dass ein gehobenes Gewicht eine **Triebkraft** besitzt; dass es aber nothwendig sinken muss, wenn diese Triebkraft wirken soll; dass durch das Herabsinken diese Triebkraft erschöpft wird, aber durch Anwendung einer anderen fremden Triebkraft, nämlich der unseres Arms, in ihrer Wirksamkeit wieder hergestellt werden kann.

Die Arbeit, welche das Gewicht zu leisten hat, wenn es die Uhr in Gang hält, ist freilich nicht gross. Es hat die kleinen Widerstände fortdauernd zu überwinden, welche die Reibung der Axen und Zähne, sowie der Luftwiderstand der Bewegung der Räder entgegensetzen, und hat die Kraft für die kleinen Stösse und Schallerschütterungen herzugeben, welche das Pendel bei jeder Schwingung hervorbringt. Nimmt man das Gewicht von der Uhr ab, so schwankt allerdings das Pendel noch eine Weile hin und her, ehe es zur Ruhe kommt; aber seine Bewegung wird dabei immer schwächer und hört endlich ganz auf, indem sie durch die genannten kleinen Hindernisse allmälig aufgezehrt wird. Eben deshalb ist eine, wenn auch kleine, aber fortdauernd wirkende Triebkraft nöthig, um die Uhr in Gang zu erhalten. Eine solche giebt das Gewicht.

Uebrigens ergiebt sich an diesem Beispiel schon leicht ein Maass für die Grösse der Arbeit. Nehmen wir an, eine Uhr würde durch ein Gewicht von einem Pfunde getrieben, welches in 24 Stunden fünf Fuss herabsinkt. Hängen Sie zehn solche Uhren von gleicher Construction auf, jede mit einem Pfund Gewicht, so werden diese zehn Uhren 24 Stunden lang getrieben; also, da jede dieselben Widerstände in gleicher Zeit zu überwinden hat, wie die andere, so wird die zehnfache Arbeit verrichtet, indem zehn Pfunde um fünf Fuss herabsinken. Wir schliessen daraus, dass bei gleichbleibender Fallhöhe die Arbeit im Verhältniss des Gewichtes wachse.

Wenn wir nun aber den Faden so viel länger machen können, dass das Gewicht zehn Fuss abläuft, so wird die Uhr zwei Tage gehen statt eines Tages; und es wird bei doppelter Fallhöhe das Gewicht am zweiten Tage noch einmal dieselben Widerstände

Digitized by Google

überwinden, wie während des ersten Tages, also im Ganzen eine doppelt so grosse Arbeit leisten, als wenn es nur fünf Fuss fallen kann. Bei demselben Gewichte wächst also die Arbeit auch wie die Fallhöhe. Daraus folgt, dass wir das Product aus der Grösse des Gewichts und der Höhe, durch welche es herabsinken kann, zunächst wenigstens in dem besprochenen Falle, als Maass der Arbeit werden betrachten müssen. In der That aber ist die Anwendung dieses Maasses nicht auf den einzelnen Fall beschränkt; sondern das allgemeine von den Technikern angewendete Maass [1]), wodurch man Arbeitsgrössen misst, ist ein Fusspfund, d. h. die Arbeit, welche ein Pfund, gehoben um einen Fuss, hervorbringen kann.

Wir können in der That dieses Maass der Arbeitskraft ganz allgemein auf alle Arten von Maschinen anwenden, weil wir sie alle durch ein hinreichendes Gewicht, was eine Rolle bewegt, würden in Bewegung setzen können. Somit können wir die Grösse jeder Triebkraft für eine jede beliebige Maschine immer durch die Grösse und die Fallhöhe eines solchen Gewichts ausdrücken, wie es nöthig sein würde, um die Maschine bei ihren Verrichtungen in Bewegung zu erhalten, bis sie eine gewisse Arbeit geleistet hat. Eben deshalb ist die Messung der Arbeitskräfte nach Fusspfunden allgemein anwendbar. Praktisch vortheilhaft wäre freilich die Anwendung eines Gewichtes als Triebkraft in denjenigen Fällen nicht, wo wir gezwungen wären dasselbe durch die eigene Kraft unseres Arms emporzuheben; denn dann würden wir einfacher die Maschine selbst unmittelbar mit dem Arm in Bewegung setzen. Bei der Uhr wenden wir ein Gewicht an, um nicht selbst den ganzen Tag am Räderwerk zu stehen, wie wir es müssten, wenn wir sie direct bewegen wollten. Indem wir die Uhr aufziehen, speichern wir einen Vorrath von Arbeitskraft in ihr auf, der für die Ausgabe in den nächsten 24 Stunden genügt.

Etwas anderes ist es, wenn die Natur selbst für uns die Gewichte in die Höhe schafft, die wir für uns arbeiten lassen können. Das thut sie nun freilich nicht mit festen Körpern, wenigstens nicht so regelmässig, dass wir es benutzen könnten, wohl aber in reichlichem Maasse mit dem Wasser, welches durch die meteorologischen Processe auf die Höhe der Berge geschafft wird,

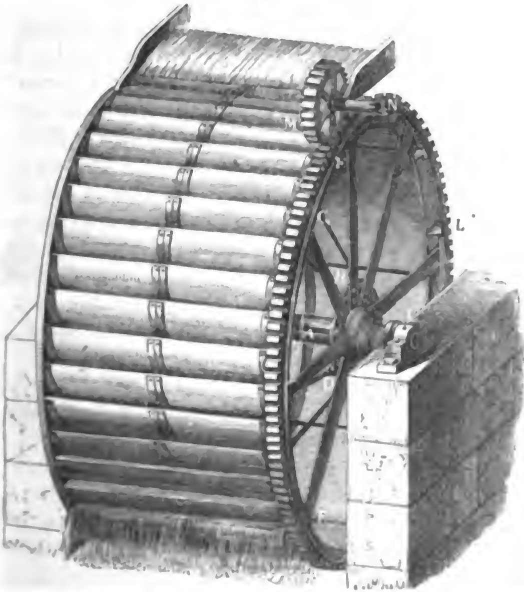
---

[1]) Das oben genannte ist das technische Maass der Arbeit, um es in das wissenschaftliche Maass zu verwandeln, müssen wir es noch mit der Intensität der Schwere multipliciren.

Digitized by Google

und diesen wieder entströmt. Die Schwere des Wassers benutzen wir als Triebkraft in den Wassermühlen; am directesten bei den sogenannten oberschlächtigen Wasserrädern, wie in Fig. 13 ein solches dargestellt ist. Diese tragen längs ihres Umfangs eine Reihe Kästen, die als Wassergefässe dienen und mit ihrer

Fig. 13.



Mündung auf der dem Beschauer zugekehrten Seite des Rades nach oben sehen; auf der anderen abgewendeten sehen die Mündungen dieser Wasserkästen natürlich nach unten. Das Wasser fliesst von oben bei *M* her in die Kästen der vorderen Seite des Rades ein, unten bei *F*, wo die Mündung der Kästen anfängt sich nach unten zu neigen, fliesst es aus. Die Kästen des Radumfangs sind also gefüllt an der dem Beschauer zugekehrten Seite, leer an der entgegengesetzten; die ersteren sind beschwert durch das darin enthaltene Wasser, die letzteren nicht. Das Gewicht des Wassers wirkt also fortdauernd nur auf die eine Seite des Rades, zieht diese herab, und setzt dadurch das Rad in Drehung; die andere Seite des Rades leistet keinen Widerstand, weil sie kein Wasser enthält. Es ist auch hier im Wesentlichen das Gewicht des herab-

Digitized by Google

sinkenden Wassers, welches die Mühle in Bewegung setzt und die Triebkraft liefert. Aber auch hier sehen Sie leicht ein, dass das Wassergewicht, welches die Mühle treibt, nothwendig herabsinken muss um sie zu treiben, und dass es, wenn es unten angekommen ist, von seiner Schwere zwar nicht das Geringste verloren hat, dessen ungeachtet aber nicht mehr in der Lage ist das Wasserrad treiben zu können, wenn es nicht unter Aufwendung der Kraft des menschlichen Arms oder irgend einer anderen Naturkraft wieder in den oberen Theil seines Laufes hinaufgeschafft wird. Kann es vom unteren Theile des Mühlgrabens aus zu noch tieferen Stellen des Terrains hinabfliessen, so kann es auch noch weiter gebraucht werden, um andere Mühlenräder zu treiben. Ist es endlich an der tiefsten Stelle seines Laufs, im Meere, angekommen, so ist auch der letzte Rest seiner Arbeitskraft erschöpft, den es der Schwere, das heisst der Anziehung der Erde, verdankt, und es kann durch sein Gewicht nicht wieder arbeiten, ehe es nicht wieder zur Höhe hinaufgeschafft wird. Da dies letztere nun wirklich durch die meteorologischen Processe geschieht, so bemerken Sie hier gleich, dass wir auch diese Processe als Quellen von Arbeitskraft zu betrachten haben werden.

Die Wasserkraft war die erste unorganische Kraft, welche die Menschen an Stelle der eigenen Kraft oder der ihrer Hausthiere zur Arbeit zu benutzen lernten. Sie soll nach Strabo schon dem auch sonst wegen seiner Naturkenntnisse berühmten König Mithridates von Pontus bekannt gewesen sein, neben dessen Palaste sich ein Wasserrad befand. Bei den Römern wurde ihre Anwendung in der Zeit der ersten Kaiser eingeführt. Noch jetzt finden wir Wassermühlen in allen Gebirgsthälern oder, wo es überhaupt schnellfliessende und regelmässig gefüllte Bäche und Ströme giebt. Wir finden Wasserkraft zu allen möglichen Zwecken gebraucht, welche durch Maschinen zu erreichen sind, und für welche sie hinreichenden Vorrath von Arbeitskraft liefern kann. Sie treibt Mühlen, welche Getreide mahlen, Sägewerke, Hammer- und Stampfwerke, Spinnmaschinen, Webestühle, Kattundruckereien etc. Sie ist die billigste von allen Triebkräften, sie fliesst fortdauernd aus dem unerschöpflichen Vorrathe der Natur dem Menschen von selbst zu; aber sie ist freilich auch an den Ort geheftet, und nur in bergigen Gegenden pflegt sie reichlich vorhanden zu sein; in ebenen Gegenden sind ausgedehnte Gerechtsame zur Stauung der Flüsse nothwendig, um Wasserkraft von einiger Grösse beschaffen zu können.

Digitized by Google

Ehe wir nun zur Besprechung anderer Triebkräfte übergehen, muss ich einem Zweifel begegnen, der sich leicht aufdrängen kann. Wir wissen alle, dass es mancherlei Maschinen giebt, Flaschenzüge, Hebel, Krahnen, mit deren Hilfe man sehr schwere Lasten unter verhältnissmässig geringer Kraftanstrengung in die Höhe schaffen kann. Wir alle sind oft Zeuge gewesen, dass ein einzelner oder zwei Arbeiter schwere Steine, welche sie direct zu heben völlig ausser Stande wären, auf hohe Gebäude hinaufwinden; dass ebenso ein oder zwei Mann mittels eines Krahnen die grössten und schwersten Kisten aus den Schiffen hinauf zum Quai schaffen. Wenn man nun ein grosses und schweres Gewicht zum Treiben einer Maschine gebraucht hätte, sollte es nicht möglich sein, dasselbe mittels eines Flaschenzuges oder Krahnen mit leichter Mühe wieder hinaufzuschaffen, so dass es von Neuem als Triebkraft dienen kann, und so eine grosse Triebkraft zu gewinnen, ohne dass man genöthigt wäre, eine entsprechende Anstrengung bei der Hebung des Gewichtes aufzuwenden?

Darauf ist zu antworten, dass alle diese Instrumente in demselben Maasse, als sie die Anstrengung für den Augenblick erleichtern, diese auch verlängern, so dass mit ihrer Hilfe schliesslich nichts an Arbeitskraft gewonnen wird.

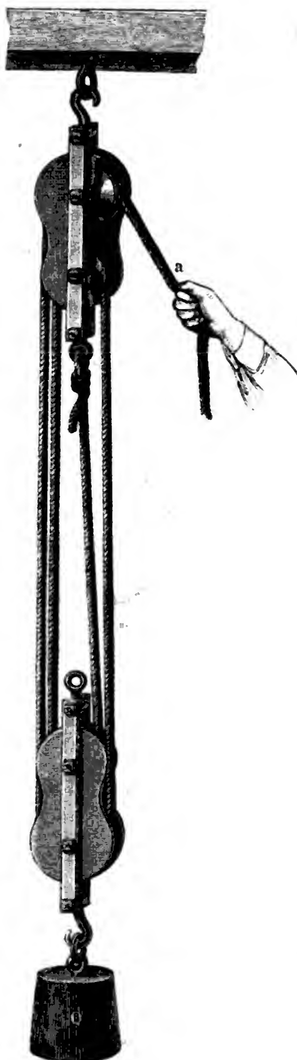
Nehmen wir an, vier Arbeiter hätten mittels eines Seils, was über eine einfache Rolle geht, eine Last von vier Centnern zu heben. Jedes Mal, wo sie den Strick um vier Fuss herabziehen, steigt auch die Last um vier Fuss. Nun hängen Sie zum Vergleich dieselbe Last an einen Flaschenzug von vier Rollen, wie der in Fig. 14 (a. f. S.) abgebildete ist. Jetzt wird in der That ein einziger Arbeiter im Stande sein, mit derselben Kraftanstrengung, wie jeder Einzelne jener vier sie brauchte, die Last in die Höhe zu schaffen. Aber wenn er das Seil am Flaschenzuge um vier Fuss herabzieht, steigt die Last nur um einen Fuss, weil die Länge, um die er das Seil bei *a* herabzieht, sich in dem Flaschenzuge auf vier Seile gleichmässig vertheilen muss, so dass von diesen jedes sich nur um ein Viertel jener Länge verkürzt. Um also die Last zu derselben Höhe zu schaffen, muss der Eine nothwendig vier Mal so lange arbeiten, als die vier zusammen thaten. Der Gesammtaufwand von Arbeit aber ist gleich, ob nun vier Arbeiter eine Viertelstunde, oder einer eine Stunde arbeitet.

Um hierbei statt der menschlichen Arbeit die Arbeit eines Gewichtes einzuführen, hängen wir unten an den Flaschenzug die

Digitized by Google

Last von 400 Pfund; an das Seil bei *a*, wo sonst die Arbeiter ziehen, ein Gewicht von 100 Pfd. Dann ist der Flaschenzug im Gleichgewicht, und kann nun ohne eine in Betracht kommende Anstrengung des Arms in Bewegung gesetzt werden. Das Gewicht von 100 Pfund sinkt, das von 400 steigt. Wir haben ohne in Betracht kommenden sonstigen Kraftaufwand also in der That das schwere Gewicht gehoben, indem wir das leichte herabsinken liessen. Aber achten Sie auch darauf, dass das leichte Gewicht um eine viermal so lange Strecke herabgestiegen ist, als das schwere in die Höhe stieg. Hundert Pfund mal vier Fuss Fallhöhe ist aber ebenso gut gleich vierhundert Fusspfund, als vierhundert Pfund mal ein Fuss Höhe.

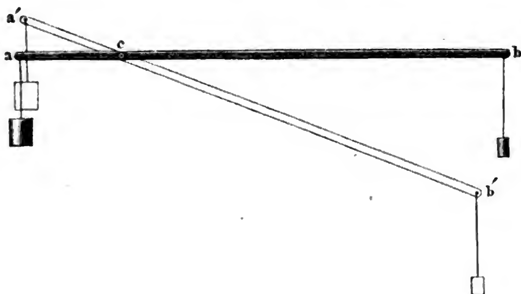
Fig. 14.



Aehnlich wie die Flaschenzüge wirken die Hebel in allen ihren verschiedenen Abänderungen. Es sei *a b* (Fig. 15) ein einfacher doppelarmiger Hebel, der bei *c* unterstützt ist, und dessen Arm *c b* vier Mal so lang ist als der andere *a c*. Hängen wir an das Ende *b* ein Gewicht von einem Pfunde, an das Ende *a* ein solches von vier Pfunden, so ist der Hebel im Gleichgewicht, und der leiseste Fingerdruck genügt, um ihn ohne in Betracht kommende Kraftanstrengung in die Lage *a' b'* zu bringen, wo das schwere

Gewicht von vier Pfunden gehoben, und dafür das leichtere von einem Pfunde gesunken ist. Aber bemerken Sie wohl, auch hier

Fig. 15.



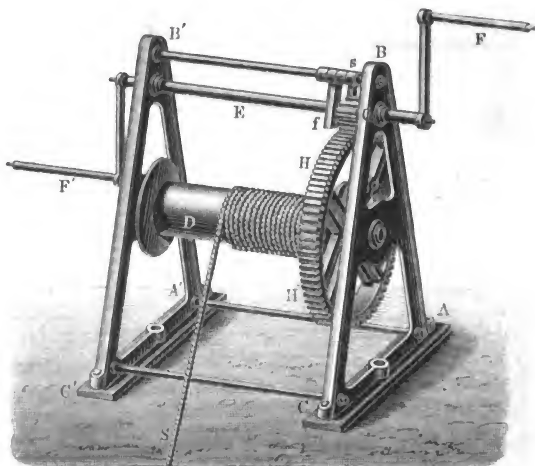
wieder ist dadurch keine Arbeit gewonnen; denn wenn das schwere Gewicht um einen Zoll gestiegen ist, ist das leichtere um vier Zoll gesunken, und vier Pfund mal ein Zoll ist als Arbeit äquivalent dem Product von einem Pfund mal vier Zoll.

Die meisten anderen festen Maschinentheile lassen sich als veränderte und zusammengesetzte Hebel ansehen; ein Zahnrad zum Beispiel als eine Reihe von Hebeln, deren Enden durch die einzelnen Zähne dargestellt werden, und von denen einer nach dem anderen in Wirksamkeit gesetzt wird, in dem Maasse, als der betreffende Zahn das benachbarte Getriebe fasst oder von ihm gefasst wird. Nehmen Sie zum Beispiel die in Fig. 16 (a.f.S.) abgebildete Winde. Der Trieb, der an der Axe der Kurbel sitzt, habe 12 Zähne, das Zahnrad *HH* aber 72 Zähne, also sechsmal so viel als jener. Man wird die Kurbel sechsmal umdrehen müssen, ehe das Zahnrad *H* und die daran befestigte Welle *D* eine Umdrehung gemacht hat, und ehe der Strick, der die Last hebt, um eine Strecke die dem Umfang der Welle gleich ist, sich gehoben hat. So braucht dann der Arbeiter sechsmal so viel Zeit, aber freilich auch nur den sechsten Theil von derjenigen Kraft, die er anwenden müsste, wenn die Kurbel direct an der Axe der Welle *D* angebracht wäre. Immer wieder finden wir bei allen diesen Maschinen und Maschinentheilen es bestätigt, dass in dem Maasse als die Geschwindigkeit der Bewegung steigt, ihre Kraft abnimmt, und dass wenn die Kraft steigt, die Geschwindigkeit abnimmt, die Grösse der Arbeit dadurch aber niemals vermehrt wird.

Digitized by Google

An den vorher beschriebenen oberschlächtigen Mühlrädern wirkt das Wasser durch sein Gewicht. Wir haben noch eine an-

Fig. 16.



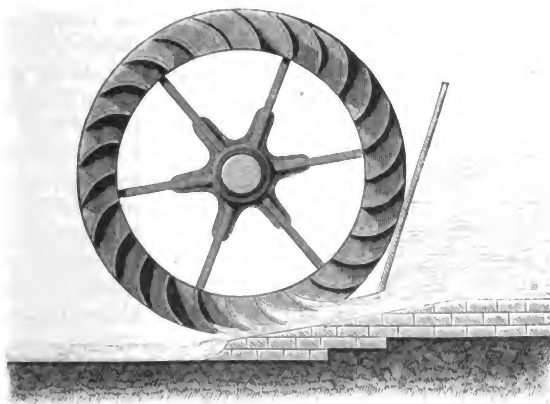
dere Form von Mühlrädern, die sogenannten unterschlächtigen, in denen es nur durch seinen Stoss wirkt, wie Fig. 17 ein solches darstellt. Diese braucht man, wo die Höhe, von der das Wasser herabkommt, nicht gross genug ist, um es auf den oberen Theil des Rades fliessen zu lassen. Unterschlächtige Räder lässt man mit dem unteren Theil in das strömende Wasser eintauchen, welches gegen ihre Schaufeln stösst und sie mitnimmt. Solche Räder werden auch in schnell strömenden Flüssen mit kaum merkbarem Gefälle, z. B. im Rheine, angewendet. In der unmittelbaren Nachbarschaft eines solchen Rades braucht nämlich das Wasser nicht nothwendig einen erheblichen Fall zu haben, wenn es nur mit einer erheblichen Geschwindigkeit dort ankommt. Die Geschwindigkeit des Wassers, welche den Stoss desselben gegen die Radschaufeln hervorbringt, ist es in diesem Falle, welche wirkt und welche die Arbeitskraft liefert.

Ein anderes Beispiel für eine solche Wirkung der Geschwindigkeit sind die Windmühlen, wie man sie in den grossen Ebenen Norddeutschlands und Hollands anwendet, um den Mangel fallenden Wassers zu ersetzen. Da ist es die bewegte Luft, der Wind,

Digitized by Google

welcher die Flügel der Mühlen umtreibt. Ruhende Luft würde eine Windmühle ebensowenig treiben können, als ruhendes Was-

Fig. 17.



ser eine Wassermühle. In der Geschwindigkeit der bewegten Massen liegt hier die Triebkraft.

Eine Büchsenkugel in der Hand ruhend ist das harmloseste Ding von der Welt; durch ihre Schwere kann sie keine grosse Wirkung ausüben, während sie abgeschossen und mit einer grossen Geschwindigkeit begabt mit der entsetzlichsten Gewalt alle Schranken durchbricht.

Wenn ich den Kopf eines Hammers sanft auf einen Nagel auflege, reicht seine geringe Schwere oder der Druck meines Arms auf denselben durchaus nicht zu, den Nagel in das Holz zu pressen. Schwinge ich den Hammer und lasse ihn mit grosser Geschwindigkeit niederfallen, so bekommt er jetzt eine neue Kraft, die viel grössere Hindernisse überwältigen kann.

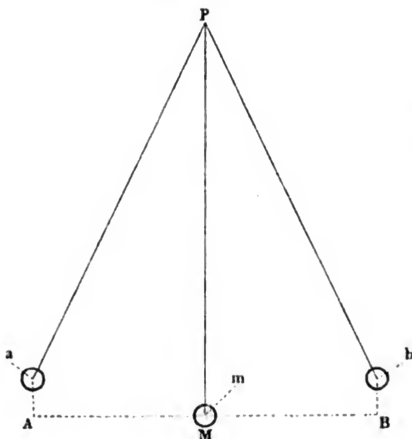
Diese Beispiele lehren uns die Geschwindigkeit einer bewegten Masse als Triebkraft kennen. In der Mechanik heisst die Geschwindigkeit, insofern sie Triebkraft ist und Arbeit verrichten kann, lebendige Kraft. Der Name ist nicht glücklich gewählt; er verleitet zu leicht, an die Kraft lebender Wesen zu denken. Auch hier werden Sie an dem Beispiele des Hammers und der Büchsenkugel erkennen, dass die Geschwindigkeit verloren geht, indem sie als arbeitende Kraft auftritt. Bei der Was-

Digitized by Google

sermühle oder Windmühle gehört freilich eine aufmerksamere Untersuchung der bewegten Wasser- und Luftmassen dazu, um sich zu überzeugen, dass durch die Arbeit, die sie verrichtet haben, ein Theil ihrer Geschwindigkeit verloren gegangen ist.

Am einfachsten und übersichtlichsten ist das Verhältniss der Geschwindigkeit zur Arbeitskraft an einem einfachen Pendel, wie wir es aus jedem Gewichte uns herstellen können, das wir an einen Faden hängen. Es sei *M*, Fig. 18, ein solches Gewicht von kugeliger Form; *A B* sei eine durch den Mittelpunkt der kugeligen Masse gezogene Horizontallinie; *P* der obere Befestigungspunkt des Fadens. Wenn ich nun das Gewicht *M* seitwärts gegen *A* hinziehe, so bewegt es sich in dem Kreisbogen *Ma*, dessen Ende *a* etwas höher liegt, als der Punkt *A* in der Horizontallinie; das Gewicht wird also dabei um die Höhe *A a* gehoben. Eben deshalb muss auch mein Arm eine gewisse Arbeitskraft aufwenden, um das Gewicht nach *a* zu bringen. Die Schwere widersteht dieser Bewegung und sucht das Gewicht nach dem tiefsten Punkte, den es erreichen kann, nach *M* zurückzutreiben.

Fig. 18.



Lasse ich nun das Gewicht los, nachdem ich es bis *a* gebracht habe, so folgt es diesem Zuge der Schwere und geht nach *M* zurück, kommt in *M* mit einer gewissen Geschwindigkeit an, bleibt aber nun nicht mehr ruhig in *M* hängen, wie es vorher that, sondern schwingt über *M* hinaus nach *b* hin, und hält hier endlich in seiner Bewegung ein, nachdem es nach der Seite von *B* hin einen ebenso grossen Bogen durchlaufen hat, wie vorher nach der Seite von *A*, und nachdem es um die Strecke *B b* über die Horizontallinie gestiegen ist, welche der Höhe *A a*, auf welche der Zug

Digitized by Google

meines Arms es vorher gehoben hatte, gleich ist. In *b* kehrt dann das Pendel um, schwingt auf demselben Wege zurück durch *M* nach *a* und so fort, bis durch Luftwiderstand und Reibung seine Schwingungen allmälig vermindert, endlich vernichtet werden.

Sie sehen hierbei, dass der Grund, warum das Gewicht, wenn es von *a* kommend durch *M* hindurchgeht, hier nun nicht ruhen bleibt, sondern der Wirkung der Schwere entgegen nach *b* emporsteigt, nur in seiner Geschwindigkeit zu suchen ist. Die Geschwindigkeit, welche es erlangt hat, indem es von der Höhe *Aa* sich herabbewegte, ist fähig, es zur gleichen Höhe *Bb* wieder emporzuheben. Die Geschwindigkeit der bewegten Masse *M* ist also fähig, diese Masse zu heben, das heisst im mechanischen Sinne: Arbeit zu verrichten. Das würde auch der Fall sein, wenn wir dem aufgehängten Gewichte eine solche Geschwindigkeit durch einen Stoss mitgetheilt hätten.

Daraus ergiebt sich dann auch weiter, wie wir die Arbeitskraft der Geschwindigkeit oder, was dasselbe bedeutet, die lebendige Kraft der bewegten Masse zu messen haben; sie ist gleichzusetzen der Arbeit, in Fusspfunden ausgedrückt, welche dieselbe Masse leisten kann, nachdem ihre Geschwindigkeit benutzt worden ist, um sie unter möglichst günstigen Umständen zu einer möglichst grossen Höhe zu treiben [1]). Dabei kommt es nicht an auf die Richtung der vorhandenen Geschwindigkeit; denn wenn wir ein Gewicht an einem Faden herumschwingen lassen, können wir auch eine abwärts gerichtete Bewegung in eine aufwärts gerichtete übergehen lassen.

Die Bewegung des Pendels zeigt uns nun auch sehr deutlich, wie die beiden bisher betrachteten Formen der Arbeitskraft, die eines gehobenen Gewichtes und die einer bewegten Masse in einander übergehen können. In den Punkten *a* und *b*, Fig. 18, hat die Masse keine Geschwindigkeit, ist aber gehoben um die Strecke *Aa* oder *Bb*; in dem Punkte *m* ist sie so weit wie möglich gefallen, hat aber Geschwindigkeit. Indem das Gewicht von *a* nach *m* geht, wird die Arbeit des gehobenen Gewichtes in lebendige Kraft verwandelt; indem das Gewicht weiter von *m* nach *b* geht, wird die lebendige Kraft in die Arbeit eines gehobenen Gewichtes verwandelt.

---

[1]) Das Maass der lebendigen Kraft im Sinne der theoretischen Mechanik ist das halbe Product aus dem Gewichte mit dem Quadrate der Geschwindigkeit. Um es auf das technische Maass der Arbeit zu reduciren, müssen wir es noch durch die Intensität der Schwere (Fallgeschwindigkeit nach Ablauf der ersten Secunde des freien Falls) dividiren.

Digitized by Google

Die Arbeit, welche unser Arm dem Pendel ursprünglich mitgetheilt hat, geht also bei seinen Schwingungen nicht verloren, so lange wir von dem Einflusse des Luftwiderstandes und der Reibung absehen dürfen — auch vermehrt sie sich nicht —, aber sie wechselt fortdauernd die Form ihrer Erscheinung.

Gehen wir nun über zu anderen mechanischen Kräften, denen der elastischen Körper. Statt der Gewichte, welche unsere Wanduhren treiben, finden wir in den Stutzuhren und Taschenuhren stählerne Federn, welche beim Aufziehen der Uhr gespannt werden, und indem sie das Uhrwerk 24 Stunden lang bewegen, sich wieder entspannen. Um die Feder zu spannen, verbrauchen wir Kraft unseres Arms; dieser muss die widerstrebende elastische Kraft der Feder, wie bei der Gewichtsuhr die widerstrebende Schwere des Gewichtes, überwinden, wenn wir sie aufziehen. Die gespannte Feder aber ist fähig, Arbeit zu verrichten; sie giebt diese ihr mitgetheilte Fähigkeit allmälig wieder aus, indem sie das Werk treibt.

Wenn ich eine Armbrust spanne und sie nachher abschiesse, setzt die gespannte Feder den Bolzen in Bewegung; sie ertheilt ihm Arbeitskraft in Gestalt von Geschwindigkeit. Um den Bogen zu spannen, muss mein Arm etliche Secunden arbeiten; ausgegeben und auf den Bolzen übertragen wird diese Arbeit in dem Moment des Abschiessens. Die Armbrust drängt also die ganze Arbeit, welche mein Arm ihr im Verlaufe des Spannens mitgetheilt hat, auf einen ausserordentlich kurzen Zeitpunkt zusammen; die Uhr dagegen breitet sie aus über einen oder mehrere Tage. Gewonnen wird in beiden Fällen keine Arbeit, die nicht mein Arm dem Instrumente ursprünglich mitgetheilt hätte, sie wird nur zweckmässiger verausgabt.

Etwas anderes ist es, wenn ich durch irgend einen anderen Naturprocess bewirken kann, dass ein elastischer Körper in Spannung versetzt wird, ohne dass ich meinen Arm dabei anzustrengen brauche. Das ist in der That möglich, und zwar bieten die Gasarten hierfür die günstigsten Gelegenheiten.

Wenn ich z. B. ein mit Pulver geladenes Gewehr abschiesse, verwandelt sich der grösste Theil von der Masse des verbrennenden Pulvers in Gase von sehr hoher Temperatur, welche sich mächtig auszudehnen streben, und in dem engen Raum, wo sie entstehen, nur durch den heftigsten Druck zusammengehalten werden könnten. Indem sie sich gewaltsam ausdehnen, treiben

Digitized by Google

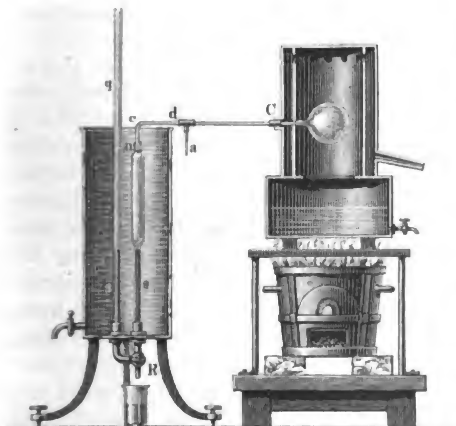
sie die Kugel vor sich her und theilen ihr eine grosse Geschwindigkeit mit, die wir schon als eine Form der Arbeitskraft kennen.

In diesem Falle habe ich also Arbeit gewonnen, die mein Arm nicht geleistet hat; es ist aber etwas anderes dabei verloren gegangen, nämlich das Schiesspulver, dessen Bestandtheile in andere chemische Verbindungen übergegangen sind, aus denen sie nicht so ohne Weiteres in ihren früheren Zustand zurückgeführt werden können. Hier ist also ein chemischer Process vor sich gegangen, unter dessen Einfluss wir Arbeitskraft gewonnen haben.

In viel grösserem Maassstabe werden uns elastische Kräfte in Gasen durch die Wärme hervorgebracht.

Nehmen wir als einfacheres Beispiel atmosphärische Luft. In Fig. 19 ist ein Apparat dargestellt, wie ihn Regnault zur Messung der Ausdehnungskraft erwärmter Gase anwendete. Kommt es auf genaue Messungen nicht an, so kann derselbe Apparat viel einfacher eingerichtet werden. Bei C ist ein mit trockner Luft gefüllter Glasballon in das durch die Dämpfe des darin stehenden siedenden Wassers zu erwärmende Blechgefäss eingeschoben. Derselbe communicirt mit dem U-förmigen und mit einer Flüssigkeit gefüllten Rohre Ss, dessen Schenkel bei passender Stellung des Hahns R mit einander communiciren. Ist die Flüssigkeit im Gleichgewicht im Rohre Ss, wenn der Ballon kalt ist: so steigt sie im Schenkel s, und fliesst schliesslich oben aus, wenn man den Ballon erwärmt. Stellt man im Gegentheil bei erhitztem Ballon das Gleichgewicht der Flüssigkeit wieder her,

Fig. 19.



Digitized by Google

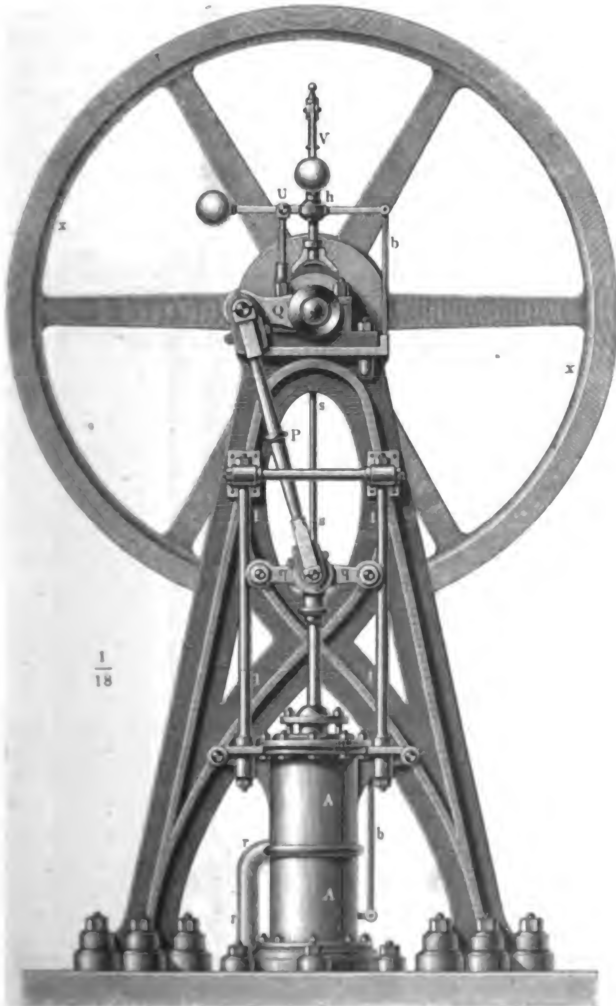
dadurch, dass man sie bei *R* theilweis ausfliessen lässt, so wird sie beim Erkalten des Ballons gegen *n* hin angesogen. In beiden Fällen wird also Flüssigkeit gehoben und dadurch Arbeit verrichtet.

Im grössesten Maassstabe sehen Sie denselben Versuch fortdauernd wiederholt in den Dampfmaschinen. Nur um eine fortdauernde Entwickelung gepresster Gase aus ihrem Kessel zu unterhalten, ersetzt man die Luft des Ballons in Fig. 19, welche bald ein Maximum ihrer Ausdehnung erreichen würde, im Kessel durch Wasser, welches durch die Wärme allmälig in Dampf verwandelt wird; Wasserdampf ist aber, so lange er als solcher besteht, ein elastisches Gas, welches sich auszudehnen strebt, gerade wie die atmosphärische Luft. Und statt der Flüssigkeitssäule, die in unserem letzten Versuche gehoben wurde, lässt man in der Maschine einen festen Stempel in die Höhe treiben, der seine Bewegung auf andere feste Maschinentheile übertragen kann. In Fig. 20 sind die arbeitenden Theile einer Hochdruckmaschine in der Ansicht von vorn dargestellt, in Fig. 21 (S. 170) im Querschnitt. Der Dampfkessel, in dem der Dampf erzeugt wird, ist nicht mitgezeichnet; letzterer strömt durch das Rohr *zz*, Fig. 21, dem Cylinder *AA* zu, in dem sich ein dicht schliessender Kolben *C* bewegt. Die Theile, welche zwischen der Röhre *zz* und dem Cylinder *AA* sich einschalten, nämlich das Schieberventil im Kasten *KK* und die beiden Röhren *d* und *e*, dienen dazu den Dampf, je nach der Stellung des Ventils, bald durch *d* in den unteren Theil des Cylinders *A* unter den Kolben zu leiten, bald in den oberen über den Kolben, während gleichzeitig der Dampf aus der anderen Hälfte des Cylinders freien Ausgang nach aussen erhält. Tritt der Dampf unter den Kolben, so treibt er ihn in die Höhe; ist der Kolben oben angekommen, so wechselt die Stellung des Ventils in *KK* und der Dampf tritt nun über den Kolben, und treibt ihn wieder herab. Die Kolbenstange wirkt mittels der an ihr eingelenkten Stange *P* auf die Kurbel *Q* des Schwungrades *X* und setzt dieses in Umdrehung. Die Bewegung dieses Rades bewirkt wieder mittels des Gestänges *s*, dass das Ventil immer zur rechten Zeit umgestellt wird. Auf diese mechanischen Einrichtungen brauchen wir hier nicht näher einzugehen, so sinnreich sie auch ausgebildet sind. Uns interessirt hier nur die Art und Weise, wie Wärme elastisch gepressten Dampf hervorbringt, und dieser Dampf in seinem Streben, sich auszudehnen, gezwungen wird, die festen Theile der Maschine zu bewegen, und uns Arbeitskraft zu liefern.

Digitized by Google

Sie wissen alle, welcher gewaltigen und welcher mannigfaltigen Leistungen die Dampfmaschinen fähig sind; mit ihnen hat

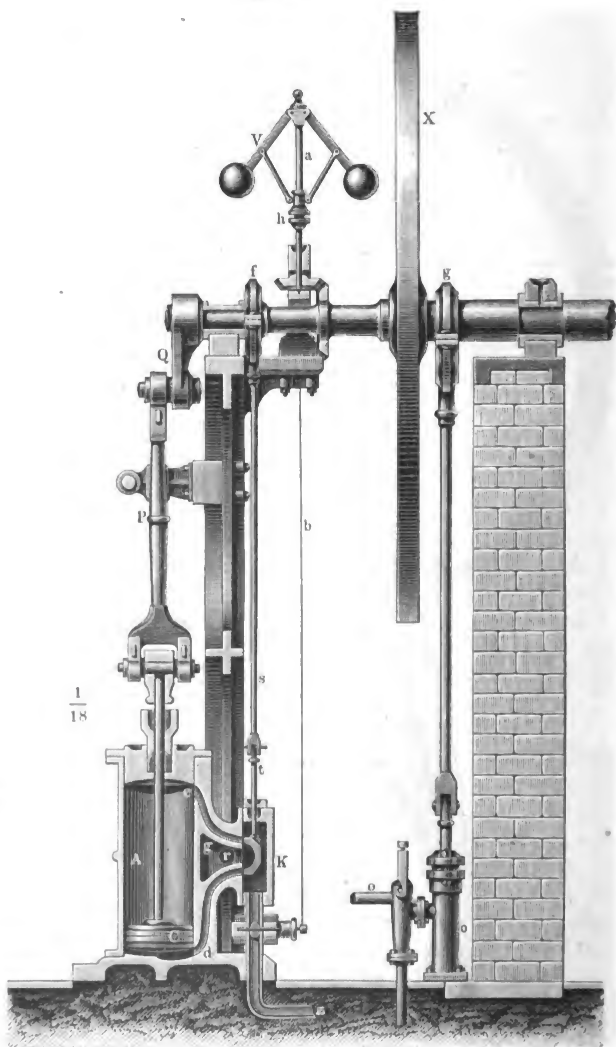
Fig. 20.



Digitized by Google

eigentlich die grosse Entwickelung der Industrie, welche unser Jahrhundert vor allen früheren auszeichnet, erst begonnen. Ihr

Fig. 21.



Digitized by Google

wesentlicher Vorzug im Vergleich mit den früher bekannten Triebkräften ist, dass sie nicht an den Ort gebunden sind. Der Kohlenvorrath und die geringe Quantität Wasser, welche die Quellen ihrer Triebkraft sind, lassen sich leicht überall hinschaffen; ja wir können eben deshalb die Dampfmaschinen selbst beweglich machen, wie es in den Dampfschiffen und Locomotiven geschieht. Durch diese Maschinen ist es möglich an jeder Stelle der Oberfläche der Erde, wie in den tiefen Schachten der Bergwerke und auf der Mitte des Meeres, Arbeitskraft in fast unbeschränktem Maasse zu entwickeln; während Wasser und Windmühlen fest an beschränkte Orte der Oberfläche des Landes gebannt sind. Die Locomotive führt jetzt Reisende und Güter in einer Zahl und Geschwindigkeit über das Land hin, welche unseren Vätern, die ihre bescheidenen Postwagen mit sechs Passagieren im Inneren und der Geschwindigkeit von einer Meile in der Stunde schon als einen ungeheuren Fortschritt bewunderten, wie unglaubliche Fabeln erscheinen müssten. Dampfschiffe durchschneiden den Ocean unabhängig von der Windrichtung, kräftig sich wehrend gegen Stürme, durch welche Segelschiffe weit verschlagen würden, sicher in bestimmter Zeit ihr Ziel zu erreichen. Die Vortheile, welche der Zusammenfluss vieler und mannigfach geschickter Arbeiter in den grossen Städten, denen Wasser- und Windkräfte gewöhnlich fehlen, für alle Zweige der Industrie bietet, kann ausgenutzt werden, indem Dampfmaschinen überall Platz finden, um die nöthige rohe Kraft zu gewähren und die intelligentere Menschenkraft für bessere Zwecke aufzusparen; und überhaupt, wo die Beschaffenheit des Bodens oder die Nachbarschaft günstiger Verkehrsstrassen vortheilhafte Gelegenheit für die Entwickelung der Industrie bieten, ist jetzt auch in den Dampfmaschinen die Kraftquelle bereit.

Wir sehen also: Wärme kann mechanische Arbeitskraft erzeugen; nun haben wir in den übrigen bisher besprochenen Fällen gefunden, dass das Quantum von Arbeitskraft, was durch ein gewisses Maass eines physikalischen Vorgangs erzeugt werden kann, immer ein bestimmt begrenztes ist, und dass die weitere Arbeitsfähigkeit der Naturkräfte durch die geschehene Leistung selbst verringert oder erschöpft wird. Wie verhält es sich in dieser Beziehung mit der Wärme?

Diese Frage war von entscheidender Wichtigkeit bei dem Bestreben, das Gesetz von der Erhaltung der Kraft auf alle Naturprocesse auszudehnen. In ihrer Beantwortung lag der hauptsächlichste Unterschied zwischen der älteren und neueren Ansicht der

Digitized by Google

hierher gehörigen Verhältnisse; daher denn auch von vielen Physikern die dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft entsprechende Naturanschauung geradezu mit dem Namen der mechanischen Wärmetheorie belegt wird.

Die ältere Ansicht von der Natur der Wärme war, dass sie ein Stoff sei, zwar sehr fein und unwägbar, aber dennoch unzerstörbar und unveränderlich in ihrer Quantität, welches letztere bekanntlich die wesentliche Grundeigenschaft jeder Materie ist. In der That zeigt sich bei einer grossen Zahl von Naturprocessen die Quantität der durch das Thermometer nachweisbaren Wärme unveränderlich.

Zwar kann sie wandern durch Leitung und Strahlung von wärmeren zu kälteren Körpern; die Wärmemenge aber, welche jene verlieren, erscheint in diesen, durch das Thermometer nachweisbar, wieder. Auch fand man mancherlei Processe, namentlich die Uebergänge der Naturkörper aus dem festen in den flüssigen oder gasigen Zustand, bei denen Wärme wenigstens für das Thermometer verschwand; führte man aber den gasigen Körper wieder in den flüssigen, den flüssigen in den festen Zustand zurück, so kam genau die gleiche Wärmemenge wieder zum Vorschein, die vorher verloren schien. Man nannte dies ein Latentwerden der Wärme. Flüssiges Wasser unterscheidet sich nach dieser Ansicht vom Eise dadurch, dass es eine gewisse Quantität gebundenen Wärmestoffs enthält, der eben, weil er fest gebunden ist, nicht auf das Thermometer übergehen und nicht von diesem angezeigt werden kann. Wasserdampf enthält danach eine noch grössere Menge gebundenen Wärmestoffes. Lassen wir aber den Dampf sich niederschlagen, das tropfbare Wasser wieder zu Eis gefrieren, so erhalten wir auch genau dieselbe Wärmemenge frei zurück, die bei der Schmelzung des Eises und Verdampfung des Wassers latent geworden war.

Endlich wird Wärme bald hervorgebracht, bald verschwindet sie bei chemischen Processen. Aber auch hier liess sich die Annahme durchführen, dass die verschiedenen chemischen Elemente und chemischen Verbindungen gewisse constante Mengen latenten Wärmestoffs enthalten, welcher bei einer Aenderung ihrer Zusammensetzung bald austritt, bald von aussen her zugeführt werden muss; und genaue Versuche zeigten, dass die Menge Wärme, welche sich bei einem chemischen Processe entwickelt, zum Beispiel bei der Verbrennung von einem Pfunde reiner Kohle zu Kohlensäure, durchaus constant ist, man mag die Verbrennung langsam

Digitized by Google

oder schnell, auf einmal oder in Zwischenstufen vor sich gehen lassen. Alles dies also stimmte sehr wohl mit der Annahme zusammen, die man der Wärmetheorie zu Grunde gelegt hatte, dass die Wärme ein Stoff von durchaus unveränderlicher Quantität sei. Es waren die hier kurz erwähnten Naturprocesse Gegenstand ausgedehnter experimenteller und mathematischer Untersuchungen, namentlich der grossen französischen Physiker aus den letzten Jahrzehnten des vorigen, den ersten des jetzigen Jahrhunderts gewesen, und es hatte sich daraus ein reiches und genau durchgearbeitetes Capitel der Physik entwickelt, in dem alles vortrefflich mit der Hypothese, die Wärme sei ein Stoff, zusammenstimmte. Andererseits wusste man die bei allen diesen Processen constatirte Unveränderlichkeit der Wärmemenge damals aus keiner anderen Annahme zu erklären, als aus der, dass die Wärme eben ein Stoff sei.

Aber man hatte eine Beziehung der Wärme, nämlich gerade die zur mechanischen Arbeit, nicht genauer untersucht. Ein französischer Ingenieur freilich, Sadi Carnot, Sohn des berühmten Kriegsministers der Revolution, hatte (1824) die mechanische Arbeit, welche die Wärme verrichtet, daraus herzuleiten gesucht, dass sich der hypothetische Wärmestoff zu expandiren strebe, gleichsam einem Gase ähnlich, und in der That aus dieser Vorstellung ein merkwürdiges Gesetz über die Arbeitsfähigkeit der Wärme abgeleitet, welches auch heute noch, freilich mit einer durch Clausius vorgenommenen wesentlichen Aenderung, in die Grundlagen der neueren sogenannten mechanischen Wärmetheorie eingeht, und dessen praktische Folgerungen, so weit sie damals mit der Erfahrung verglichen werden konnten, sich in der That bewährten.

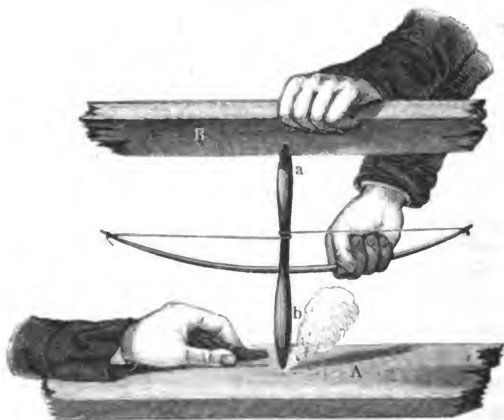
Daneben aber bestanden die Erfahrungen, dass überall, wo zwei bewegte Körper gegen einander reiben, Wärme neu entwickelt wird, man konnte nicht sagen woher.

Die Thatsache ist allbekannt; die Axe eines Wagenrades, welches schlecht geschmiert ist und heftig reibt, wird heiss, so heiss, dass sie sich entzünden kann; ja, schnell laufende Maschinenräder mit eisernen Axen können sich sogar an ihre Pfannen anschweissen. Auch ist nicht einmal eine heftige Reibung nöthig, um merkliche Wärme zu entwickeln. Jedes Streichhölzchen, was Sie durch Reiben an einem Punkte so weit erwärmen, dass die phosphorhaltige Masse sich dort entzündet, lehrt ihnen dasselbe. Ja, Sie brauchen nur die trocknen Handflächen unter kräftigem Druck schnell an einander zu reiben, so fühlen Sie die Reibungswärme,

Digitized by Google

welche viel stärker ist als die Erwärmung, welche die Hände ruhig gegen einander liegend in der Handfläche erzeugen; und ein deutlicher Geruch von verbranntem Horn, der von den Handtellern ausgeht, zeigt an, dass das hornige Oberhäutchen des Handtellers oberflächlich versengt sei. Uncultivirte Völker benutzen die Reibung zweier Holzstücke, um Feuer anzumachen. Zu dem Ende setzen sie eine spitze Spindel aus hartem Holze auf die in Fig. 22 dargestellte Weise in schnelle Drehung auf einer Unterlage von weichem Holze.

Fig. 22.



So lange es sich nur um Reibung fester Körper gegen einander handelte, wobei oberflächliche Theilchen abgerissen und comprimirt werden, konnte man vielleicht noch daran denken, dass irgend welche Structuränderungen der geriebenen Körper hierbei latente Wärme frei werden liessen, die dann als Reibungswärme zum Vorschein käme.

Aber man kann Wärme auch durch Reibung flüssiger Körper erzeugen, wo von Structuränderungen und vom Freiwerden latenter Wärme nicht die Rede ist. Das erste entscheidende Experiment dieser Art wurde von Sir Humphrey Davy im Anfange dieses Jahrhunderts angestellt. Er liess in einem abgekühlten Raume zwei Eisstücke auf einander reiben, und brachte sie dadurch zum Schmelzen. Die latente Wärme, welche das neugebildete Wasser hierbei aufnehmen musste, konnte durch das kalte

Digitized by Google

Eis nicht zugeleitet, konnte durch keine Structurveränderung erzeugt sein, konnte nirgends herkommen als von der Reibung und musste durch die Reibung neu erzeugt sein.

Wie durch Reibung, so kann auch durch den Stoss unvollkommen elastischer Körper Wärme erzeugt werden. Dies geschieht zum Beispiel, wenn wir mit Stein und Stahl Feuer schlagen, oder mit kräftigen Hammerschlägen einen eisernen Stift längere Zeit hindurch bearbeiten.

Wenn wir uns nun nach der mechanischen Bedeutung der Reibung und des unelastischen Stosses umsehen, so finden wir, dass diese beiden Vorgänge es sind, durch welche alle bewegten irdischen Körper immer wieder zur Ruhe gebracht werden. Ein bewegter Körper, dessen Bewegung durch keine widerstehende Kraft gehemmt wird, würde bis in Ewigkeit sich fortbewegen. Ein Beispiel dafür giebt uns die Planetenbewegung. Für die Bewegung irdischer Körper ist dies scheinbar nie der Fall, weil sie immer mit anderen ruhenden in Berührung sind, und sich an diesen reiben. Wir können ihre Reibung zwar sehr vermindern, aber niemals ganz aufheben. Ein Rad, was um eine gut gearbeitete Axe läuft, einmal angestossen, setzt seine Umlaufsbewegung lange Zeit fort; um so länger, je feiner und glatter die Axe gearbeitet ist, je besser sie eingefettet ist und je geringeren Druck sie zu ertragen hat. Dennoch aber geht die lebendige Kraft der Bewegung, die wir einem solchen Rade mitgetheilt haben, als wir es anstiessen, endlich allmälig verloren durch die Reibung. Sie verschwindet und, wenn wir nicht genau zusehen, sieht es ganz so aus, als wäre die vorhanden gewesene lebendige Kraft des Rades ohne allen Ersatz einfach vernichtet worden.

Eine Kugel, die wir auf ebener Bahn in das Rollen bringen, rollt fort, bis ihre Geschwindigkeit durch die Reibung an der Bahn, durch die kleinen Stösse an ihren Unebenheiten vernichtet ist.

Ein Pendel, was wir in Schwingung versetzt haben, kann bei guter Aufhängung Stunden lang fortschwingen, ohne durch ein Uhrwerk angetrieben zu sein; durch die leise Reibung an der umgebenden Luft und an seiner Aufhängungsstelle kommt es endlich zur Ruhe.

Ein Stein, der von der Höhe fällt, hat, wenn er an der Erde angekommen ist, eine gewisse Geschwindigkeit erreicht; diese kennen wir als das Aequivalent einer mechanischen Arbeit; so lange diese Geschwindigkeit noch als solche besteht, können wir sie bei passenden Einrichtungen nach oben hin lenken und sie benutzen,

Digitized by Google

um den Stein wieder in die Höhe zu treiben. Endlich schlägt der Stein auf die Erde auf und kommt zur Ruhe; der Stoss hat seine Geschwindigkeit und damit auch scheinbar die mechanische Arbeit vernichtet, welche diese Geschwindigkeit noch zu leisten im Stande gewesen wäre.

Fassen wir das Resultat aller dieser Beispiele, die Jeder von Ihnen aus seiner täglichen Erfahrung sich leicht wird vermehren können, zusammen, so sehen wir: Reibung und unelastischer Stoss sind Vorgänge, bei denen mechanische Arbeit vernichtet und dafür Wärme erzeugt wird.

Die vorher schon erwähnten Versuche von Joule führen uns noch einen Schritt weiter. Er hat das Quantum von Arbeit gemessen nach Fusspfunden, welches durch die Reibung bald fester, bald flüssiger Körper vernichtet wurde, ebenso andererseits das Quantum Wärme, welches dabei erzeugt wurde, und hat zwischen beiden ein festes Verhältniss gefunden. Seine Versuche ergeben nämlich, dass wenn durch Verbrauch mechanischer Arbeit Wärme erzeugt wird, ein ganz bestimmtes Quantum Arbeit erforderlich ist, um dasjenige Quantum Wärme zu erzeugen, welches von den Physikern als Wärmeeinheit betrachtet wird, dasjenige Quantum nämlich, was nöthig ist, um ein Gramm Wasser um einen Grad der hundertheiligen Scala zu erwärmen. Das dazu nöthige Quantum Arbeit ist nach Joule's besten Versuchen gleich der Arbeit, welche ein Gramm von 425 Meter Höhe fallend leisten würde.

Um die Uebereinstimmung der von ihm gewonnenen Zahlen zu zeigen, führe ich hier die Ergebnisse einiger Versuchsreihen an, welche er nach Anbringung der letzten Verbesserungen an seinen Methoden gewonnen hat.

1. Eine Versuchsreihe, wobei Wasser in einem Messinggefäss durch Reibung erwärmt wurde. Im Inneren dieses Gefässes drehte sich eine senkrechte Axe mit sechszehn Schaufeln versehen, während der so erregte Wasserwirbel durch eine Reihe von Scheidewänden des Gefässes gebrochen wurde. Letztere hatten Ausschnitte eben gross genug, um das Schaufelrad durchgehen zu lassen. Der Werth des Aequivalents war 424,9 Meter.
2. Zwei ähnliche Versuchsreihen, wobei die reibende Flüssigkeit Quecksilber in einem eisernen Gefässe war, ergaben 425 und 426,3 Meter.
3. Zwei Versuchsreihen, in denen ein konischer Eisenring auf einem anderen rieb, beide von Quecksilber umgeben, ergaben 426,7 und 425,6 Meter.

Digitized by Google

Genau dasselbe Verhältniss zwischen Wärme und Arbeit wurde aber auch bei dem umgekehrten Processe gefunden, wenn nämlich durch Wärme Arbeit erzeugt wird. Um diesen Process unter möglichst wohl zu controlirenden physikalischen Verhältnissen auszuführen, benutzt man besser permanente Gase als Dämpfe, wenn letztere auch zur Erzeugung grosser Arbeitsmengen, wie in der Dampfmaschine geschieht, praktisch bequemer sind. Ein Gas, was man mit mässiger Geschwindigkeit sich ausdehnen lässt, kühlt sich ab. Joule war es, der zuerst zeigte, was der Grund dieser Abkühlung ist. Das Gas hat nämlich bei seiner Ausdehnung den Widerstand zu überwinden, den der Luftdruck und die langsam nachgebende Wand des Gefässes ihm entgegensetzen, oder wenn es selbst nicht fähig ist, diesen Widerstand zu überwinden, so unterstützt es doch dabei den Arm des Beobachters, der ihn überwindet. So arbeitet das Gas, und diese Arbeit geschieht auf Kosten seiner Wärme. Daher die Abkühlung. Lässt man im Gegentheil das Gas plötzlich ausströmen in einen vollkommen luftleer gemachten Raum hinein, wo es gar keinen Widerstand findet, so kühlt es sich nicht ab, wie Joule gezeigt hat; oder wenn einzelne Theile desselben sich kühlen, so erwärmen sich andere, und nach Ausgleichung der Temperatur ist diese genau so gross wie vor der plötzlichen Ausdehnung der Gasmasse.

Wie viel Wärme die verschiedenen Gase nun entwickeln, wenn sie comprimirt werden, und wie viel Arbeit zu ihrer Compression nöthig ist, oder umgekehrt, wie viel Wärme sie verschwinden machen, wenn sie sich unter einem ihrem Drucke gleichen Gegendruck dehnen, und wie viel Arbeit sie dabei in Ueberwindung dieses Gegendruckes leisten, war theils aus älteren physikalischen Versuchen bekannt, theils ist es durch neuere Versuche von Regnault nach äusserst vervollkommneten Methoden bestimmt worden. Die Rechnung mit den besten Daten dieser Art ergiebt nun den Werth des Wärmeäquivalents nach den Versuchen

mit atmosphärischer Luft	426,0	Meter
mit Sauerstoffgas	425,7	„
mit Stickstoffgas	431,3	„
mit Wasserstoffgas	425,3	„

Vergleicht man diese Zahlen mit denen, welche die Aequivalenz von Wärme und mechanischer Kraft bei der Reibung bestimmen, so zeigt sich eine so nahe Uebereinstimmung, wie sie zwischen Zahlen, die durch so verschiedenartige Untersuchungen verschiedener Beobachter gewonnen sind, nur irgend zu erwarten ist.

Digitized by Google

Also: Eine gewisse Wärmemenge kann in eine bestimmte Menge von Arbeit verwandelt werden; diese Arbeitsmenge kann aber auch in Wärme, und zwar genau in dieselbe Wärmemenge zurückverwandelt werden, aus der sie entstanden ist; in mechanischer Beziehung sind beide einander äquivalent. Die Wärme ist eine neue Form, in welcher ein Quantum von Arbeitskraft erscheinen kann.

Diese Thatsachen erlauben uns nun nicht mehr, die Wärme als einen Stoff zu betrachten, weil die Quantität derselben nicht unveränderlich ist. Sie kann neuerzeugt werden aus der lebendigen Kraft vernichteter Bewegung; sie kann vernichtet werden, und erzeugt dann Bewegung. Wir müssen daraus vielmehr schliessen, dass die Wärme selbst eine Bewegung sei, eine innere unsichtbare Bewegung der kleinsten elementaren Theile der Naturkörper. Wenn also durch Reibung und Stoss Bewegung verloren zu gehen scheint, so geht sie in Wirklichkeit nicht verloren, sie geht nur von den grossen sichtbaren Massen auf ihre kleinsten Theile über, während in der Dampfmaschine die innere Bewegung der erhitzten Gastheile auf den Stempel der Maschine übertragen, in ihm gesammelt und in eine Resultante zusammen gefasst wird.

Welche Form diese innere Bewegung habe, lässt sich bisher nur bei den Luftarten mit einiger Wahrscheinlichkeit sagen. Deren Theilchen schiessen wahrscheinlich in geradlinigen Bahnen nach allen Richtungen durch einander hin, bis sie, an ein anderes Theilchen oder die Wand des Gefässes anprallend, nach veränderter Richtung zurückgeworfen werden. Ein Gas wäre also etwa einem Mückenschwarme ähnlich, nur aus unendlich viel kleineren und unendlich viel dichter gedrängten Theilchen bestehend. Diese von Kroenig, Clausius, Maxwell ausgebildete Hypothese giebt sehr gut Rechenschaft von allen Erscheinungen der Gase.

Was den früheren Physikern als die constante Quantität des Wärmestoffs erschien, ist nichts weiter als die gesammte Arbeitskraft der Wärmebewegung, welche so lange constant bleibt, als sie nicht in andere Formen von Arbeit übergeführt wird, oder aus anderen Formen der Arbeit neu entsteht.

Wir wenden uns noch zu einer anderen Form arbeitsfähiger Naturkräfte, nämlich zu den chemischen. Wir sind ihnen heute schon begegnet. Sie sind es in letzter Instanz, welche die Arbeitsleistungen des Schiesspulvers und der Dampfmaschine hervorbringen, insofern wir die Wärme, welche in dieser gebraucht wird, durch Verbrennung von Kohle, das heisst durch einen chemischen

Digitized by Google

Process gewinnen. Die Verbrennung der Kohle ist die chemische Vereinigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoffe der Luft, vor sich gehend unter dem Einflusse der chemischen Verwandtschaftskraft beider Stoffe.

Diese Kraft können wir uns als eine Anziehungskraft zwischen beiden vorstellen, die aber nur wirksam ist, und zwar ausserordentlich stark, wenn die kleinsten Theile beider Stoffe in engste Nachbarschaft zu einander gebracht sind. Bei der Verbrennung wird diese Kraft wirksam; die Kohlenstoff- und Sauerstoffatome stürzen auf einander los und haften dann an einander fest, indem sie einen neuen Stoff, eine Verbindung beider, nämlich Kohlensäure, bilden, eine Gasart, Ihnen allen bekannt als diejenige, welche aus gährenden und gegohrenen Getränken, aus dem Biere, dem Champagner aufsteigt. Diese Anziehungskraft nun zwischen den Atomen des Kohlenstoffs und des Sauerstoffs leistet gerade so gut Arbeit, wie die, welche die Erde in der Form der Schwere auf ein gehobenes Gewicht ausübt. Wenn das Gewicht zu Boden gefallen ist, so bringt es eine Erschütterung hervor, die sich zum Theil als Schallerschütterung auf die Umgebung fortpflanzt, zum Theil als Wärmebewegung bestehen bleibt. Ganz dasselbe müssen wir als Erfolg der chemischen Anziehung erwarten. Wenn Kohlenstoff- und Sauerstoffatome auf einander losgestürzt sind und sich zu Kohlensäure vereinigt haben, so müssen die neugebildeten Theilchen der Kohlensäure in heftigster Molecularbewegung sein, das heisst in Wärmebewegung. Und so finden wir es. Ein Pfund Kohlenstoff, verbrannt mit Sauerstoff zu Kohlensäure, giebt so viel Wärme, als nöthig ist um 80,9 Pfund Wasser vom Gefrierpunkt bis zum Sieden zu erhitzen, und wie die gleiche Arbeitsmenge erzeugt wird, wenn ein Gewicht fällt, ob es nun schnell oder langsam fällt, so wird auch die gleiche Wärmemenge durch Verbrennung des Kohlenstoffs erzeugt, ob diese nun schnell oder langsam, auf ein Mal oder in Absätzen geschehen möge.

Wenn die Kohle verbrannt ist, so erhalten wir an ihrer und des verbrauchten Sauerstoffs Stelle das gasige Verbrennungsproduct, die Kohlensäure. Diese ist unmittelbar nach der Verbrennung glühend heiss. Wenn sie später ihre Wärme an die Umgebung abgegeben hat, so haben wir in der Kohlensäure noch den ganzen Kohlenstoff, noch den ganzen Sauerstoff und auch noch die Verwandtschaftskraft beider ebenso kräftig wie vorher bestehend. Aber letztere äussert sich jetzt nur noch darin, dass sie die Kohlenstoff- und Sauerstoffatome fest aneinander heftet, ohne eine

Digitized by Google

Trennung derselben zu gestatten; Arbeit oder Wärme kann sie nicht mehr hervorbringen, ebenso wenig als ein gefallenes Gewicht noch Arbeit zu leisten vermag, ehe es nicht durch eine fremde Kraft wieder emporgehoben ist. Wenn die Kohle verbrannt ist, bemühen wir uns deshalb auch nicht weiter die Kohlensäure festzuhalten; sie kann uns keine Dienste mehr leisten, wir suchen sie im Gegentheil so schnell wie möglich durch die Schornsteine aus unseren Häusern wieder zu entfernen.

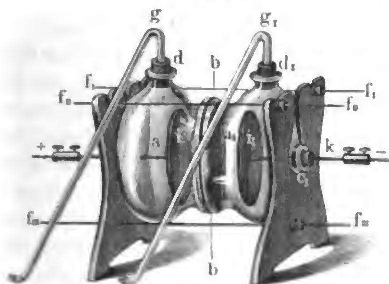
Ist es nun möglich, die Bestandtheile der Kohlensäure wieder von einander zu reissen, und ihnen ihre Leistungsfähigkeit, die sie ursprünglich hatten, ehe sie sich vereinigten, wieder zu geben, wie man die Leistungsfähigkeit eines Gewichts herstellt, indem man es vom Boden erhebt? Es ist in der That möglich. Wir werden später sehen, wie es im Leben der Pflanzen geschieht; auch ist es möglich dasselbe durch unorganische Processe, freilich nur auf weiteren Umwegen, zu erreichen, deren Auseinandersetzung uns hier zu weit von unserem Wege abführen würde.

Aber für ein anderes chemisches Element, welches ebenso wie der Kohlenstoff verbrannt werden kann, nämlich für den Wasserstoff, lässt es sich leicht und direct thun. Wasserstoff ist neben dem Kohlenstoff ein Bestandtheil aller verbrennlichen Pflanzensubstanzen, unter anderem auch ein wesentlicher Bestandtheil des Gases, welches wir zur Beleuchtung unserer Strassen und Zimmer benutzen; im isolirten Zustande ist er ebenfalls ein Gas, das leichteste von allen, und brennt, angezündet, mit schwach leuchtender blauer Flamme. Bei dieser Verbrennung, das heisst bei der chemischen Verbindung des Wasserstoffs mit Sauerstoff, entsteht eine sehr bedeutende Wärmemenge; für ein Gewicht Wasserstoff sogar viermal so viel Wärme als bei der Verbrennung des gleichen Gewichts Kohlenstoff. Das Product der Verbrennung ist Wasser, welches daher selbst nicht mehr verbrennlich ist, da in ihm der Wasserstoff mit Sauerstoff schon vollständig gesättigt ist. Die Verwandtschaftskraft des Wasserstoffs zum Sauerstoff leistet bei deren Verbrennung also eine Arbeit, wie die des Kohlenstoffs zum Sauerstoff, die in Form von Wärme zum Vorschein kommt. In dem durch die Verbrennung gebildeten Wasser besteht die Verwandtschaftskraft zwischen den beiden Elementen allerdings nach wie vor; aber ihre Arbeitsfähigkeit ist verloren gegangen. Wir müssen die beiden Elemente erst wieder trennen, ihre Atome von einander reissen, um neue Wirkungen von ihnen zu erhalten.

Digitized by Google

Das können wir nun ausführen mit Hilfe der elektrischen Ströme. In dem in Fig. 23 abgebildeten Apparate haben wir zwei mit angesäuertem Wasser gefüllte Glasgefässe *a* und a_1, die in der Mitte durch eine poröse und mit Wasser durchfeuchtete Thonplatte von einander geschieden sind. Von beiden Seiten ragen die Platindrähte *k* in die Gefässe hinein und tragen die Platinplatten *i* und i_1. Sobald wir nun einen galvanischen Strom durch die Platindrähte *k* in das Wasser einleiten, sehen Sie von den beiden Platten *i* und i_1 Ströme von Luftbläschen in die Höhe steigen. Diese Luftbläschen sind die beiden Elemente des Wassers, auf der einen Seite Wasserstoff, auf der anderen Sauerstoff. Die Gase entweichen durch die beiden Röhren *g* und g_1. Wenn wir warten, bis sich die oberen Theile der Flaschen und die Röhren damit gefüllt haben, so können wir nun an der einen Seite das Wasserstoffgas entzünden; es brennt mit blauer Flamme. Wenn ich der Mündung der anderen Röhre einen glimmenden Spahn nähere, flammt er auf; wie es im Sauerstoffgase geschieht, welches die Verbrennungsprocesse sehr viel intensiver vor sich gehen lässt, als es die atmosphärische Luft thut, in der der Sauerstoff, mit Stickstoff sich mischend, nur ein Fünftheil des Volumens ausmacht.

Fig. 23.



Halte ich einen mit kaltem Wasser gefüllten Glaskolben über die Wasserstoffflamme, so schlägt sich an diesem das durch die Verbrennung neugebildete Wasser nieder.

Halte ich in die fast gar nicht leuchtende Flamme einen Platindraht, so sehen Sie, wie intensiv glühend er wird; ja in einem reichlichen Strome der Mischung des hier erzeugten Wasserstoff- und Sauerstoffgases würde ich das so schwer schmelzbare Platin sogar schmelzen können. Das Wasserstoffgas, was hier durch den elektrischen Strom aus dem Wasser getrennt ist, hat also die Fähigkeit wieder erhalten, durch neue Vereinigung mit Sauerstoff grosse Wärmemengen zu erzeugen, seine Verwandtschaftskraft zum Sauerstoff hat ihre Arbeitsfähigkeit wieder erhalten.

Digitized by Google

Wir lernen hier wieder eine neue Quelle von Arbeitskraft kennen, nämlich den elektrischen Strom, der das Wasser zerlegt. Dieser Strom selbst ist erzeugt durch eine galvanische Batterie, Fig 24. Jedes der vier Gläser enthält Salpetersäure, in welche ein hohler Cylinder aus sehr dichter Kohle eintaucht. In der mittleren Oeffnung des Kohlencylinders steht ein cylindrisches poröses Gefäss aus weissem Thon gebrannt, welches mit wässeriger Schwefelsäure gefüllt ist und in diese Flüssigkeit taucht ein Cylinder aus Zink. Jeder Zinkcylinder ist durch einen metallischen Bügel mit dem Kohlencylinder des nächsten Glases verbunden, der letzte Zinkcylinder *n* mit der einen Platinplatte, der erste Kohlencylinder *p* mit der anderen Platinplatte des Wasserzersetzungsapparats Fig. 23.

Fig. 24.



Wenn nun der leitende Kreis dieses galvanischen Apparats hergestellt wird und die Wasserzersetzung beginnt, so geht gleichzeitig auch ein chemischer Process in den Zellen der galvanischen Kette vor sich. Zink entzieht dem umgebenden Wasser Sauerstoff und erleidet also eine, wenn auch langsame, Verbrennung. Das dabei gebildete Verbrennungsproduct, das Zinkoxyd, vereinigt sich weiter mit der Schwefelsäure, zu der es eine kräftige Verwandtschaft hat, und das schwefelsaure Zink, ein salzähnlicher Körper, löst sich in der Flüssigkeit auf. Den Sauerstoff übrigens, der ihm entzogen ist, erhält das Wasser wieder von der Salpetersäure, die die Kohlencylinder umgiebt, welche viel Sauerstoff enthält und ihn leicht hergiebt. So verbrennt also in der galvanischen Batterie Zink zu schwefelsaurem Zinkoxyd auf Kosten des Sauerstoffs der Salpetersäure.

Während also das eine Verbrennungsproduct, das Wasser, wieder getrennt wird, geht eine neue Verbrennung vor sich, die des

Digitized by Google

Zinks. Während wir dort arbeitsfähige chemische Verwandtschaft wieder herstellen, geht sie hier verloren. Der elektrische Strom ist gleichsam nur der Träger, der die chemische Kraft des mit Sauerstoff und Säure sich verbindenden Zinks auf das Wasser in der Zersetzungszelle hinüberleitet und zur Ueberwindung der chemischen Kraft des Wasserstoffs und Sauerstoffs verwendet.

Wieder also können wir eine verloren gegangene Arbeitskraft zwar herstellen, aber nur, indem wir eine andere Arbeitskraft, die des sich oxydirenden Zinks, dazu aufwenden.

Wir haben in diesem Falle chemische Kräfte durch chemische überwunden unter Vermittelung des elektrischen Stromes. Aber wir können dasselbe auch durch mechanische Kräfte erreichen, wenn wir den elektrischen Strom durch eine magnet-elektrische Maschine, Fig. 25 a. f. S., erzeugen. Wenn wir deren Kurbel drehen, rotirt der mit besponnenem Kupferdraht umwickelte Anker RR' des grossen Hufeisenmagneten, und dabei erzeugen sich in den Drahtwindungen elektrische Ströme, die von den Punkten *a* und *b* nach aussen geleitet werden können. Verbinden wir die Enden dieser Drahtleitungen mit dem Wasserzersetzungsapparate, so gewinnen wir auch so Wasserstoff- und Sauerstoffgas, freilich in viel geringerer Menge, als durch die vorher gebrauchte Batterie. Aber dieser Vorgang ist deshalb für uns interessant, weil wir dabei durch die mechanische Kraft unseres Arms, der die Kurbel dreht, die Arbeit erzeugen, welche zur Trennung der verbundenen chemischen Elemente gebraucht wird. Wie uns die Dampfmaschine chemische Kraft in mechanische verwandelt, so verwandelt die magnet-elektrische Maschine mechanische in chemische.

Ueberhaupt eröffnet die Anwendung elektrischer Ströme eine grosse Menge von Beziehungen zwischen den verschiedenen Naturkräften. Wir haben durch solche Ströme das Wasser in seine Elemente zerlegt und würden eine grosse Zahl anderer chemischer Verbindungen dadurch zerlegen können. Andererseits werden in den gewöhnlichen galvanischen Batterien elektrische Ströme durch chemische Kräfte erzeugt.

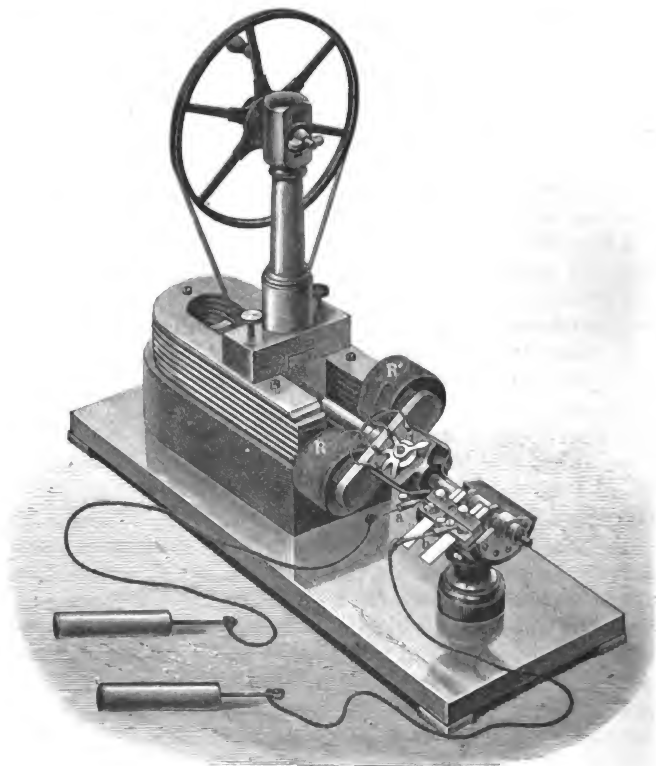
In allen Leitern, durch welche elektrische Ströme fliessen, erregen sie Wärme; ich spanne diesen dünnen Platindraht zwischen den Enden *n* und *p* der galvanischen Batterie Fig. 24 aus, er wird lebhaft glühend und schmilzt auseinander. Andererseits werden in den sogenannten thermo-elektrischen Ketten elektrische Ströme durch Wärme erzeugt.

Eisen, welches einer von einem elektrischen Strome durch-

Digitized by Google

flossenen Kupferdrahtspirale genähert wird, wird magnetisch und zieht dann anderes Eisen oder einen in passender Lage genäherten Stahlmagneten an. So erhalten wir mechanische Wirkungen, die

Fig. 25.

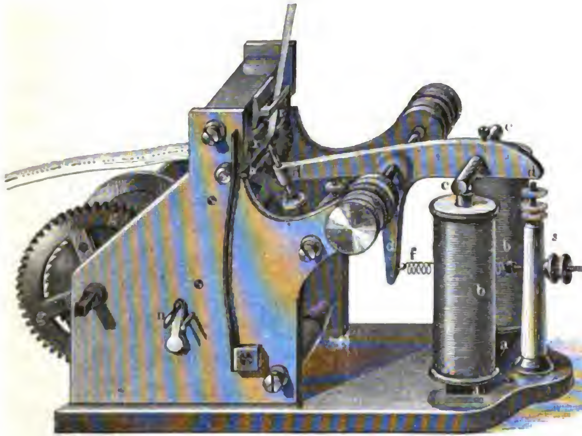


in den elektrischen Telegraphen zum Beispiel ausgedehnte Anwendung erfahren. Fig. 26 zeigt den Morse'schen Telegraphen in $^1/_3$ der natürlichen Grösse. Der wirksame Theil ist ein hufeisenförmig gestalteter Eisenkern, der in den Kupferdrahtspiralen *b b* steckt. Ueber seinen nach oben gekehrten Enden liegt quer der kleine Stahlmagnet *c c*, der angezogen wird, sowie ein elektrischer Strom durch die Telegraphenleitung den Spiralen *b b* zugeleitet

Digitized by Google

wird. Der Magnet *c c* sitzt fest in dem Hebel *d d*, dessen anderes Ende den Schreibstift trägt, der bei *r* auf dem durch das Uhrwerk

Fig. 26.



vorbeigezogenen Papierstreifen schreibt, so oft und so lange *c c* durch die magnetische Wirkung des elektrischen Stroms herabgezogen wird. Umgekehrt würden wir durch Veränderung des Magnetismus in dem Eisenkerne der Spiralen *b b* in diesen einen elektrischen Strom erhalten, gerade wie wir auf ähnliche Weise in der magnet-elektrischen Maschine Fig. 25 solche Ströme schon erhalten haben; auch dort steckt in den Spiralen ein Eisenkern, der durch seine Annäherung an die Pole des grossen Hufeisenmagneten bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne magnetisirt wird.

Ich will die Beispiele solcher Beziehungen nicht weiter häufen; es werden uns noch manche in den späteren Vorlesungen begegnen. Lassen Sie uns aber diese Beispiele noch einmal überblicken und daran das allen gemeinsame Gesetz erkennen.

Ein gehobenes Gewicht kann uns Arbeit leisten; aber wenn es das thut, muss es nothwendig von seiner Höhe herabsinken, und wenn es so tief gefallen ist, als es fallen kann, bleibt seine Schwere zwar nach wie vor bestehen, aber sie kann keine Arbeit mehr leisten.

Digitized by Google

Eine gespannte Feder kann Arbeit leisten; aber sie erschlafft, indem sie es thut.

Geschwindigkeit einer bewegten Masse kann Arbeit leisten; sie geht dabei aber in Ruhe über. Wärme kann Arbeit leisten; sie wird vernichtet, indem sie es thut.

Chemische Kräfte können Arbeit leisten; sie erschöpfen sich, indem sie arbeiten.

Elektrische Ströme können Arbeit leisten; aber zu ihrer Unterhaltung müssen wir chemische oder mechanische Kräfte, oder Wärme aufbrauchen.

Wir dürfen dies allgemein aussprechen: Es ist ein allgemeiner Charakter aller bekannten Naturkräfte, dass ihre Arbeitsfähigkeit erschöpft wird, in dem Maasse als sie Arbeit wirklich hervorbringen.

Wir haben aber weiter gesehen, dass ein Gewicht, wenn es fiel, ohne andere Arbeit zu verrichten, entweder Geschwindigkeit erlangte oder Wärme erzeugte. Wir könnten auch eine magnetelektrische Maschine durch das Gewicht treiben; dann würde es uns elektrische Ströme liefern.

Wir haben gesehen, dass chemische Kräfte, wenn sie zur Wirkung kommen, entweder Wärme oder elektrische Ströme, oder auch mechanische Arbeit erzeugen.

Wir haben gesehen, dass Wärme in Arbeit verwandelt werden kann; es giebt Apparate (thermo-elektrische Ketten), in denen durch sie elektrische Ströme erzeugt werden. Sie kann auch chemische Verbindungen direct scheiden, z. B. wenn wir Kalk brennen, trennt sie den Kalk von der Kohlensäure.

So erhält, wenn die Leistungsfähigkeit der einen Naturkraft vernichtet wird, immer eine andere neue Wirksamkeit. Ja innerhalb des Kreises der anorganischen Naturkräfte können wir jede derselben mit Hilfe jeder anderen wirkungsfähigen Naturkraft in den wirksamen Zustand zurück versetzen. Die Verbindungen zwischen den verschiedenen Naturkräften, welche die neuere Physik aufgedeckt hat, sind so ausserordentlich zahlreich, dass sich fast für jede dieser Aufgaben mehrere ganz verschiedene Wege auffinden lassen.

Ich habe angegeben, wie man mechanische Arbeit zu messen pflegt, und wie man das Arbeitsäquivalent der Wärme bestimmt hat. Das Arbeitsäquivalent der chemischen Processe wird wiederum durch die Wärme gemessen, die sie hervorbringen. Durch ähnliche Beziehungen können auch die Arbeitsäquivalente der

Digitized by Google

übrigen Naturkräfte auf das Maass der mechanischen Arbeit zurückgeführt werden.

Wenn nun eine gewisse mechanische Arbeitsmenge verloren geht, so wird, wie die darauf gerichteten Untersuchungen übereinstimmend gelehrt haben, ein entsprechendes Aequivalent von Wärme gewonnen, oder statt dieser auch von chemischer Kraft; und umgekehrt, wenn Wärme verloren geht, gewinnen wir eine äquivalente Menge von chemischer oder mechanischer Arbeitskraft, und wenn chemische verloren geht, von Wärme oder Arbeit, so dass bei allen diesen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenartigen unorganischen Naturkräften Arbeitskraft zwar in einer Form verschwinden kann, dann aber in genau äquivalenter Menge in anderer Form neu auftritt, also weder vermehrt noch vermindert wird, sondern immer in gleichbleibender Menge bestehen bleibt.

Dass dasselbe Gesetz auch für die Vorgänge in der organischen Natur gilt, so weit bisher die Thatsachen geprüft sind, werden wir später sehen.

Daraus folgt: dass die Summe der wirkungsfähigen Kraftmengen im Naturganzen bei allen Veränderungen in der Natur ewig und unverändert dieselbe bleibt. Alle Veränderung in der Natur besteht darin, dass die Arbeitskraft ihre Form und ihren Ort wechselt, ohne dass ihre Quantität verändert wird. Das Weltall besitzt ein für alle Mal einen Schatz von Arbeitskraft, der durch keinen Wechsel der Erscheinungen verändert, vermehrt oder vermindert werden kann und der alle in ihm vorgehende Veränderung unterhält.

Sie sehen, wie wir, von Betrachtungen ausgehend, die es nur mit den nächstliegenden praktischen Interessen technischer Arbeit zu thun hatten, hinübergeführt worden sind zu einem allgemeinen Naturgesetze, welches, soweit unsere bisherige Erfahrung reicht, alle Naturprocesse überhaupt beherrscht und umfasst, welches auch gar nicht mehr auf die praktischen Zwecke des menschlichen Nutzens beschränkt ist, sondern eine ganz allgemeine und besonders charakteristische Eigenschaft aller Naturkräfte ausspricht, und welches nach seiner Allgemeinheit nur den Gesetzen von der Unveränderlichkeit der Masse und der Unveränderlichkeit der chemischen Elemente an die Seite zu stellen ist.

Es entscheidet zugleich endgültig eine grosse praktische Frage, die in den letzten beiden Jahrhunderten vielfach erörtert wurde, und zu deren Entscheidung man eine unendliche Zahl von Versuchen

Digitized by Google

angestellt und von Apparaten gebaut hat, nämlich die Frage nach der Möglichkeit eines Perpetuum mobile. Darunter verstand man eine Maschine, welche ohne Hilfe einer äusseren Triebkraft fortdauernd gehen und arbeiten sollte. Die Lösung dieses Problems versprach unermesslichen Gewinn. Eine solche Maschine würde alle Vortheile der Dampfmaschinen gehabt haben, ohne Brennmaterial zu kosten. Arbeit ist Geld. Eine Maschine, die Arbeit aus nichts schaffen konnte, war so gut wie eine, welche Gold machte. So war dieses Problem eine Zeit lang an die Stelle der Goldmacherei getreten und verwirrte manchen grübelnden Kopf. Dass ein Perpetuum mobile mit Benutzung der bekannten mechanischen Kräfte nicht herzustellen sei, konnte schon im vorigen Jahrhundert mittels der inzwischen entwickelten mathematischen Mechanik nachgewiesen werden. Um aber zu zeigen, dass es auch nicht möglich sei, wenn man Wärme, chemische Kräfte, Elektricität und Magnetismus mitwirken lasse, dazu musste man das von uns ausgesprochene Gesetz in seiner allgemeinen Fassung kennen. Die Möglichkeit eines Perpetuum mobile wurde erst durch das Gesetz von der Erhaltung der Kraft endgültig verneint, und man könnte dieses Gesetz auch ebenso gut in der praktischen Form aussprechen, dass kein Perpetuum mobile möglich sei, dass eine Arbeitskraft nicht aus Nichts und ohne Verbrauch geschaffen werden könne.

Sie werden die Wichtigkeit und die Tragweite unseres Gesetzes erst vollständig beurtheilen können, wenn Sie eine Reihe seiner Anwendungen auf die einzelnen Vorgänge der Natur vor Augen haben.

Schon was ich heute erwähnt habe über den Ursprung der Triebkräfte, die unserer Benutzung zu Gebote stehen, weist uns über die engen Verhältnisse unserer Laboratorien und Fabriken auf die grossen Vorgänge in dem Leben der Erde und des Weltalls hinaus. Die Kraft des fallenden Wassers kann den Bergen nur entströmen, wenn Regen und Schnee es ihnen zuführen. Um diese zu liefern, müssen wir Wasserdampf in der Atmosphäre haben, der nur durch Wärme erzeugt werden kann, und diese Wärme kommt von der Sonne. Die Dampfmaschine bedarf des Brennmaterials, welches das Pflanzenleben liefert, sei es das jetzt thätige Leben der uns umgebenden Vegetation oder das erloschene Leben, welches die mächtigen Steinkohlenlager in den Tiefen der Erde erzeugt hat. Wir werden später sehen, in welch' inniger Beziehung das Pflanzenleben zum Sonnenlicht steht. Die Kraft der Menschen

Digitized by Google

und Thiere muss wieder ersetzt werden durch Nahrung; alle Nahrung kommt zuletzt aus dem Pflanzenreich, und führt uns auf dieselbe Quelle zurück.

Sie sehen, wenn wir dem Ursprunge der Triebkräfte nachforschen, die wir in unseren Dienst nehmen, so werden wir gewiesen auf die meteorologischen Vorgänge in der Atmosphäre der Erde, auf das Leben der Pflanzen im Ganzen, auf die Sonne.

Dieser Weisung werden wir in den kommenden Vorlesungen zu folgen versuchen [1]).

---

[1]) Die weiter unten (Bd. II, S. 55) folgende Vorlesung über die Entstehung des Planetensystems ist eine Ausarbeitung des wesentlichen Inhalts einer dieser weiteren Vorlesungen.

Digitized by Google

EIS UND GLETSCHER.

Vorlesung

gehalten im

Februar 1865 in Frankfurt a. M. und Heidelberg.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

Die Welt des Eises und des ewigen Schnees, wie sie sich auf den Gipfeln der benachbarten Alpenkette entfaltet, so starr, so einsam, so gefahrvoll sie auch sein mag, hat ihren ganz besonderen Zauber. Sie fesselt nicht nur die Aufmerksamkeit des Naturforschers, der in ihr die wunderbarsten Aufschlüsse über die jetzige und vergangene Geschichte des Erdballs findet, sie lockt auch in jedem Sommer Tausende von Reisenden aus allen Ständen herbei, die in ihr geistige und körperliche Erfrischung suchen. Während die Einen sich damit begnügen von fern den blendenden Schmuck zu bewundern, den die reinen Lichtmassen schneeiger Gipfel, eingeschaltet zwischen das tiefere Blau des Himmels und das saftigere Grün der Matten, der Landschaft verleihen, dringen Andere kühner in die fremdartige Welt vor, den äussersten Graden von Anstrengung und Gefahr sich willig unterziehend, um sich am Anblick ihrer Erhabenheit zu sättigen.

Ich will nun nicht versuchen, was so oft vergebens versucht worden ist, Ihnen mit Worten die Schönheit und Grossartigkeit der Natur ausmalen zu wollen, deren Anblick den Alpenwanderer entzückt. Ich darf ja wohl voraussetzen, dass sie den meisten von Ihnen aus eigener Anschauung bekannt ist, oder es hoffentlich noch werden wird. Aber ich meine, dass die Freude und das Interesse an der Erhabenheit jener Scenen Sie um so geneigter machen wird, auch den sehr merkwürdigen Ergebnissen der neueren Naturforschung über die hervorragendsten Erscheinungen der Eiswelt ein williges Ohr zu leihen. Da zeigen sich kleine Eigenthümlichkeiten des Eises, deren Erwähnung unter andern Umständen vielleicht als eine wissenschaftliche Spitzfindigkeit hätte be-

Digitized by Google

trachtet werden können, als die Ursachen der wichtigsten Vorgänge in den Gletschern; unförmliche Steinblöcke beginnen dem aufmerksamen Beobachter ihre Geschichte zu erzählen, oft Geschichten, die weit über die Vergangenheit des Menschengeschlechts hinausreichen in das Dunkel der Urzeit; ruhiges gesetzmässiges und segensreiches Walten ungeheurer Naturkräfte wird offenbar, wo beim ersten Anblick sich nur Wüsten zeigen, entweder unabsehbar hingestreckt in trostloser öder Einsamkeit, oder voll von wilder gefahrdrohender Verwirrung, ein Tummelplatz zerstörender Gewalten. Und so glaube ich Ihnen sogar versprechen zu dürfen, dass das Studium des Zusammenhangs jener Erscheinungen, wovon ich heute allerdings nur einen sehr kurzen Abriss geben kann, Ihnen nicht nur eine prosaische Belehrung gewähren, sondern auch Ihre Freude an den grossartigen Scenen des Hochgebirges lebhafter, Ihr Interesse reicher und Ihre Bewunderung grösser machen wird.

Lassen Sie mich Ihnen erst die Hauptzüge der äusseren Erscheinung der Schneefelder und der Gletscher des Hochgebirges in das Gedächtniss zurückrufen und hinzufügen, was genauere Messungen zur Beobachtung ergänzend beigetragen haben, ehe ich zur Erörterung des ursächlichen Zusammenhangs jener Vorgänge übergehe.

Je höher wir an den Bergen hinaufsteigen, desto kälter wird es. Unsere Atmosphäre ist wie eine wärmende Decke über die Erde hingebreitet; sie ist für die leuchtenden Wärmestrahlen der Sonne fast vollkommen durchsichtig, und lässt sie ohne merkliche Hinderung herein. Aber sie ist nicht gleich gut durchgängig für die dunklen Wärmestrahlen, welche, von den erwärmten irdischen Körpern ausgehend, wieder in den Weltraum zurückstreben. Diese werden von der atmosphärischen Luft verschluckt, namentlich da, wo sie feucht ist; dadurch erwärmt sich die Luftmasse selbst, und giebt die gewonnene Wärme nur langsam wieder in der Richtung nach dem freien Weltraume hin ab. Die Ausgabe der Wärme ist also verzögert im Verhältniss zur Einnahme, und dadurch wird ein gewisser Wärmevorrath längs der Erdoberfläche festgehalten. Ueber hohen Gebirgen aber ist die schützende Decke der Atmosphäre viel dünner, dort kann die ausstrahlende Wärme des Erdbodens viel schneller in den Weltraum zurück entweichen, dort ist also auch der aufgespeicherte Wärmevorrath und die Temperatur viel geringer als in der Tiefe.

Dazu kommt noch eine andere Eigenthümlichkeit der Luft,

Digitized by Google

welche in demselben Sinne wirkt. In einer Luftmasse nämlich, welche sich ausdehnt, verschwindet ein Theil ihres Wärmevorraths, sie wird kühler, wenn sie nicht neue Wärme von aussen aufnehmen kann. Umgekehrt wird durch erneutes Zusammendrücken der Luft dieselbe Wärmemenge wieder erzeugt, welche durch die Ausdehnung verschwunden war. Wenn also zum Beispiel Südwinde die warme Luft des Mittelmeers nach Norden treiben, und sie zwingen zur Höhe des grossen Gebirgswalls der Alpen hinaufzusteigen, wo sich die Luft, entsprechend dem geringeren durch das Barometer angezeigten Luftdrucke, etwa um die Hälfte ihres Volumens ausdehnt, so kühlt sie sich dabei auch sehr beträchtlich ab — für eine mittlere Höhe des Gebirges von 11000 Fuss um 16 bis 25° R. je nachdem sie feucht oder trocken ist — und dabei setzt sie auch gleichzeitig den grösseren Theil ihrer Feuchtigkeit als Regen oder Schnee ab. Kommt dieselbe Luft nachher auf der Nordseite des Gebirges als Föhnwind wieder in Thäler und Ebenen hinab, so wird sie wieder verdichtet und erwärmt sich auch wieder. Derselbe Luftstrom also, der in den Ebenen diesseits und jenseits des Gebirges warm ist, ist schneidend kalt auf der Höhe und kann dort Schnee absetzen, während wir ihn in der Ebene unerträglich heiss finden.

Die Temperaturabnahme nach der Höhe hin, welche durch diese beiden Ursachen bedingt wird, ist bekanntlich schon an den niedrigeren Bergketten unserer Nachbarschaft sehr merklich; sie beträgt im mittleren Europa etwa 1° R., wenn man 600 Fuss steigt; im Winter ist sie geringer, 1° auf 900 Fuss Steigung. In den Alpen werden die Temperaturunterschiede der grösseren Höhe entsprechend viel bedeutender, so dass auf den höheren Theilen ihrer Gipfel und Abhänge der im Winter gefallene Schnee während des ganzen Sommers nicht mehr schmilzt. Man nennt bekanntlich die Grenzlinie, oberhalb deren Schnee das ganze Jahr hindurch den Boden bedeckt, die Schneegrenze; sie liegt an der Nordseite der Alpen, etwa in der Höhe von 8000 Fuss, an der Südseite in der Höhe von 8800 Fuss. Auch oberhalb der Schneegrenze kann es an sonnigen Tagen recht warm sein; ja die ungeschwächte Strahlung der Sonne, noch verstärkt durch das vom Schnee zurückgeworfene Licht, wird oft ganz unleidlich, so dass der städtische Wanderer, abgesehen von der Blendung seiner Augen, gegen die er sich durch eine dunkle Brille oder einen Schleier schützen muss, gewöhnlich argen Sonnenbrand an Gesicht und Händen davonträgt, der entzündliche Schwellung der Haut

Digitized by Google

und grosse Blasen an ihrer Oberfläche hervorruft. Anmuthigere Zeugen für die Stärke des Sonnenscheins sind die gesättigten Farben und der starke Duft der kleinen Alpenblümchen, die in geschützten Felsspalten zwischen den Schneefeldern erblühen. Trotz der starken Strahlung der Sonne steigt übrigens die Temperatur der Luft über den Schneefeldern nur bis 5°, höchstens 8° R.; dies genügt jedoch, um einen ziemlichen Theil der oberflächlichen Schneeschichten zu schmelzen. Aber die warmen Stunden und Tage sind zu kurz, um die grossen Schneemassen, welche während der kühleren Zeiten gefallen sind, zu bewältigen. Die Höhe der Schneegrenze hängt deshalb auch nicht allein von der Temperatur der Gebirgsabhänge ab, sondern wesentlich auch von der Menge des jährlichen Schneefalls. Sie liegt zum Beispiel an dem feuchtwarmen Südabhange des Himalayagebirges tiefer als auf dem viel kälteren, aber auch viel trockeneren Nordabhange desselben Gebirges. Entsprechend dem feuchten Klima des westlichen Europa ist der Schneefall auf den Alpen sehr gross, und deshalb auch die Zahl und Ausdehnung ihrer Gletscher verhältnissmässig bedeutend, so dass wenige Gebirge der Erde in dieser Beziehung mit ihnen verglichen werden können. Eine ähnliche Ausbildung der Eiswelt finden wir, so weit bekannt ist, nur noch auf dem Himalayagebirge, begünstigt durch die grössere Höhe, auf Grönland und im nördlichen Norwegen wegen des kälteren Klimas, auf einigen Inseln, Island und Neuseeland, wegen der grösseren Feuchtigkeit.

Die Orte über der Schneegrenze sind also dadurch charakterisirt, dass der Schnee, welcher im Laufe des Jahres auf ihre Fläche fällt, während des Sommers nicht ganz wegschmilzt, sondern zum Theil liegen bleibt. Dieser Schnee, welchen ein Sommer zurückgelassen hat, wird vor weiterer Einwirkung der Sonnenwärme geschützt dadurch, dass der nächste Herbst, Winter und Frühling neue Schneemassen über ihn ausschütten. Auch von diesem neuen Schnee lässt der nächste Sommer einen Rest übrig, und so häuft Jahr auf Jahr neue Schneeschichten über einander. Wo eine solche Schneeanhäufung an einem jähen Absturze endet und ihr inneres Gefüge dadurch freigelegt ist, erkennt man auch leicht die regelmässig über einander gelagerten Jahresschichten.

Es ist aber klar, dass diese Aufhäufung von einer Schneeschicht über der anderen nicht in das Unendliche so fortgehen kann, sonst würde die Höhe der Schneegipfel Jahr für Jahr ohne Aufhören wachsen müssen. Je mehr aber der Schnee sich auf-

Digitized by Google

thürmt, desto steiler werden seine Abhänge, desto grösser das Gewicht, welches auf den unteren älteren Schichten lastet und diese fortzudrängen strebt. Schliesslich muss nothwendig ein Zustand entstehen, wo die Schneeabhänge zu steil sind, als dass noch neuer Schnee an ihnen liegen bleiben kann, und wo die Last, welche die unteren Schichten nach abwärts drängt, zu gross ist, als dass diese auf den geneigten Abhängen des Gebirges sich in ihrer Lage erhalten könnten. So wird also ein Theil des Schnees, der ursprünglich auf den hochgelegenen Theilen des Gebirges oberhalb der Schneegrenze gefallen und dort vor Schmelzung geschützt war, gezwungen werden, seine ursprüngliche Lagerungsstätte zu verlassen und sich einen neuen Platz zu suchen, den er jetzt natürlich nur noch unterhalb der Schneegrenze auf den tieferen Theilen der Gebirgsabhänge und namentlich in den Thälern finden kann. Hier aber dem Einflusse einer wärmeren Luft ausgesetzt, schmilzt er endlich und fliesst als Wasser davon. Die Herabbewegung der Schneemassen von ihrer ursprünglichen Lagerungsstätte geschieht zuweilen plötzlich, in Lavinenstürzen, gewöhnlich aber sehr allmälig in den Gletschern.

Demgemäss haben wir zwei verschiedene Theile der Eisfelder zu unterscheiden, nämlich erstens den ursprünglich gefallenen Schnee, in der Schweiz Firn genannt, oberhalb der Schneegrenze, die Abhänge der Gipfel bedeckend, so weit er an ihnen haften kann, und die oberen weiten kesselförmigen Enden der Thäler in weit gedehnten Schneefeldern oder Firnmeeren ausfüllend. Zweitens haben wir die Gletscher, in Tyrol Ferner genannt, welche als Verlängerungen der Firnmeere nach unten oft 4000 bis 5000 Fuss unter die Schneegrenze hinabreichen, und in denen der lockere Schnee der Firnmeere in durchsichtiges festes Eis verwandelt sich wiederfindet. Daher der Name Gletscher, vom lateinischen *glacies*, französisch *glace*, *glacier*, abstammend.

Die äussere Erscheinung der Gletscher wird sehr bezeichnend durch den schon von Goethe angewendeten Vergleich mit Strömen von Eis beschrieben. Sie ziehen sich von den Firnmeeren aus in der Regel längs der Tiefe der von dort herabsteigenden Thäler hin, indem sie diese in ganzer Breite und oft bis zu ziemlicher Höhe mit Eis füllen. Sie folgen dabei allen Krümmungen, Windungen, Verengerungen und Erweiterungen des Thals. Häufig stossen zwei Gletscher zusammen, deren Thäler sich vereinigen. Da vereinigen sich dann auch die beiden Eisströme in einen gemeinsamen Hauptstrom, der das gemeinsame Thal füllt. An ein-

Digitized by Google

zelnen Stellen zeigen diese Eisströme eine ziemlich ebene und zusammenhängende Oberfläche, meist sind sie aber von Spalten durchzogen, und sowohl über die Oberfläche wie durch die Spalten rieseln unzählige grosse und kleine Wasseräderchen, die das durch Schmelzung des Eises gebildete Wasser abführen. Dieselben brechen zu einem Bache vereinigt am unteren Ende der grösseren Gletscher durch ein hohes gewölbtes und prachtvoll blaues Eisthor hervor.

Auf der Oberfläche des Eises pflegt eine grosse Menge von Steinblöcken und Steinschutt zu liegen, die sich namentlich längs der Seitenränder und am unteren Ende der Gletscher zu mächtigen Wällen aufthürmen, welche man die Seiten- und Endmoränen des Gletschers nennt. Andere Steinwälle, die Mittelmoränen oder Gufferlinien, ziehen sich als lange regelmässige dunkle Linien über die Oberfläche der Gletscher in Richtung ihrer Länge hin. Sie laufen stets von solchen Punkten aus, wo zwei Gletscherströme zusammentreffen und sich vereinigen. Die Mittelmoränen sind an solchen Stellen die Fortsetzungen der vereinigten Seitenmoränen der beiden Gletscher.

Die Bildung der Mittelmoränen wird sehr anschaulich an der beifolgenden Ansicht des Unteraargletschers Fig. 27. Im Hinter-

Fig. 27.



Digitized by Google

grunde sieht man die zwei aus verschiedenen Thälern, rechts vom Schreckhorn, links vom Finsteraarhorn herkommenden Gletscherströme. Von ihrer Vereinigungsstelle zieht sich der die Mitte des Bildes einnehmende Steinwall als Mittelmoräne herab. Links sieht man einzelne grosse Steinblöcke auf Eispfeilern getragen, sogenannte Gletschertische.

Um Ihnen eine Uebersicht dieser Verhältnisse an einem weiteren Beispiele zu geben, lege ich Ihnen in Fig. 28 (a. f. S.) eine Karte des Eismeers von Chamouni vor, nach der von Forbes copirt.

Das Eismeer ist bekanntlich seiner Masse nach der grösste unter den Gletschern der Schweiz, wenn es an Länge auch vom Aletschgletscher übertroffen wird. Es sammelt sich von den Schneefeldern der unmittelbar nördlich vom Montblanc gelegenen Berge, von denen mehrere wie die Grande Jorasse, die Aiguille Verte (*a* Fig. 28 u. 29), die Aiguille du Géant (*b*), Aiguille du Midi (*c*) und die Aiguille du Dru (*d*) nur 2000 bis 3000 Fuss hinter jenem König der europäischen Berge zurückbleiben. Die Schneefelder, welche an den Abhängen und in den Thalkesseln zwischen diesen Bergen liegen, sammeln sich in drei Hauptströme, den Glacier du Géant, Gl. de Léchaud und Gl. du Talèfre, welche schliesslich zusammenfliessend, wie es die Karte zeigt, das Eismeer bilden. Letzteres zieht als ein 2600 bis 3000 Fuss breiter Eisstrom bis in das Thal von Chamouni hinab, wo aus seinem unteren Ende bei *k* ein starker Bach, der Arveyron, hervorbricht, der sich in die Arve ergiesst. Der unterste Absturz des Eismeers, der vom Thale von Chamouni aus sichtbar ist und eine gewaltige Eiscascade bildet, wird gewöhnlich Glacier des Bois genannt, nach einem unten liegenden Dörfchen.

Die meisten Besucher von Chamouni betreten nur den untersten Theil des Eismeers von dem Wirthshause des Montanvert aus (*m* Fig. 28) und kreuzen, wenn sie schwindelfrei sind, den Gletscher an dieser Stelle, um zu dem gegenüberliegenden Häuschen des Chapeau (*n*) zu gelangen. Obgleich man dabei, wie die Karte zeigt, nur einen verhältnissmässig sehr kleinen Theil des Gletschers übersieht und beschreitet, so lehrt dieser Weg doch sowohl die grossartigen Scenen, als auch die Schwierigkeiten einer Gletscherwanderung genügend kennen. Kühnere Wanderer beschreiten den Gletscher nach aufwärts bis zu dem Jardin (*e*), einer mit etwas Vegetation überkleideten Felsenklippe, welche den Eisstrom des Glacier du Talèfre in zwei Arme theilt, oder steigen

Digitized by Google

auch wohl noch kühner bis zum Col du Géant (11000 Fuss über dem Meere) empor und nach der italienischen Seite hinab in das Thal von Aosta.

Fig. 28.



Die Oberfläche des Eismeers zeigt vier von den als Mittelmoränen bezeichneten Steinwällen. Die erste, der östlichen Seite des Gletschers am nächsten, entsteht, wo sich am unteren Ende des Jardin die beiden Arme des Glacier du Talèfre vereinigen; die zweite geht aus von der Vereinigung des genannten Gletschers mit dem Glacier de Léchaud, die dritte von der Vereinigung des letztern mit dem Glacier du Géant, die vierte endlich von der Spitze des von der Aiguille du Géant nach der Cascade (*g*) des Glacier du Géant herablaufenden Felsenriffs.

Um Ihnen eine Anschauung von der Neigung und dem Gefälle des Gletschers zu geben, habe ich in Fig. 29 einen Längsschnitt desselben nach den Nivellements und Messungen von

Digitized by Google

Forbes construirt, mit der Ansicht des rechten Ufers des Gletschers. Die Buchstaben bezeichnen dieselben Objecte, wie in Fig. 28; *p* ist die Aiguille de Léchaud, *q* die Aiguile Noire, *r* der Mont Tacul; *f* ist der Col du Géant, der niedrigste Punkt in der hohen Felsenmauer, welche das obere Ende der zum Eismeer beitragenden Schneefelder umzieht. Die Basis der Zeichnung entspricht einer Länge von zwei deutschen Meilen, am rechten Ende sind die Höhen über dem Meere in englischen Fussen angegeben. Die Zeichnung zeigt sehr deutlich, wie gering an den meisten Stellen das Gefälle des Gletschers ist. Die Tiefe desselben musste freilich nach ungefährer Schätzung bestimmt werden, denn über diese weiss man bisher leider nichts Sicheres. Nur dass es sehr tief sei, geht aus folgenden vereinzelten und zufälligen Beobachtungen hervor.

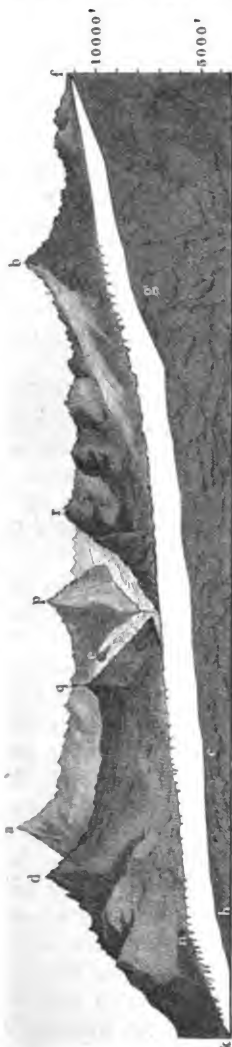


Fig. 29.

Am Ende einer vertikalen Felswand des Tacul schiebt sich der Rand des Glacier du Géant mit einer senkrechten Eiswand von 140 Fuss Höhe hervor. Dadurch wäre die Tiefe eines der oberen Arme des Gletschers am Rande gegeben. In der Mitte und nach der Vereinigung der drei Gletscher muss die Tiefe viel grösser sein. Etwas unterhalb der Vereinigungsstelle sondirten Tyndall und Hirst in einem Moulin, d. h. in einer Höhlung, durch welche die oberflächlichen Gletscherwasser in die Tiefe

strömen, bis zu 160 Fuss Tiefe; die Führer behaupteten, in einer ähnlichen Oeffnung einmal bis zu 350 Fuss Tiefe sondirt zu haben; aber in keinem Falle wurde der Boden des Gletschers erreicht. Auch erscheint es bei der gewöhnlich tief muldenförmigen oder spaltenförmigen Bodenform der nur von Felswänden gebildeten Thäler unwahrscheinlich, dass auf 3000 Fuss Breite die mittlere Tiefe nur 350 Fuss sein sollte, sowie denn auch die Bewegungsweise des Eises erfordert, dass unter dem gespaltenen Theile desselben noch eine sehr mächtige zusammenhängende Schicht sei.

Um diese Grössenverhältnisse an bekannteren Gegenständen anschaulicher zu machen, so denken Sie sich das Thal von Heidelberg mit Eis gefüllt bis zur Molkenkur hinauf, oder höher, so dass die ganze Stadt mit ihren Thürmen und das Schloss tief darunter begraben liegen; denken Sie sich ferner diese Eismasse von der Mündung des Thals in allmälig ansteigender Höhe aufwärts bis Neckargemünd fortgesetzt, so würde das etwa dem unteren vereinigten Eisstrom des Mer de Glace entsprechen.

Oder denken Sie sich statt des Rheins und der Nahe bei Bingen zwei Eisströme sich vereinigend, die das Rheinthal bis zu seinem oberen Rande erfüllen, so weit man vom Flusse aus hinaufblicken kann, und dann den vereinigten Strom abwärts ziehend bis über Asmannshausen und Burg Rheinstein hinaus; ein solcher Strom würde ebenfalls der Grösse des Eismeers etwa entsprechen.

Von der Mächtigkeit der Eismassen der grösseren Gletscher giebt auch die Ansicht Fig. 30 von dem unteren Ende des gewaltigen Gornergletschers bei Zermatt ein Bild.

Die Oberfläche der meisten Gletscher ist ziemlich schmutzig von den vielen Steinchen und Steinstaub, die darauf liegen und sich immer mehr zusammendrängen, je mehr das Eis unter und zwischen ihnen abschmilzt. Das Eis der Oberfläche ist durch Schmelzung halb zerstört und bröcklig geworden. In der Tiefe der Spalten aber erblickt man Eis von einer Reinheit und Klarheit, mit dem nichts verglichen werden kann, was wir von Eis im ebenen Lande zu sehen bekommen. Wegen seiner Reinheit zeigt es ein prachtvolles Blau, welches nur ein wenig grünlicher ist als das des blauen Himmels. Spalten, in denen das reine Eis des Inneren sichtbar wird, kommen in jeder Grösse vor; sie entstehen als schmale Risse, in die man kaum ein Messer hineinstecken kann, sie erweitern sich dann allmälig zu Schlünden, die viele hundert oder selbst tausend Fuss lang, zwanzig, fünfzig,

Digitized by Google

selbst hundert Fuss breit, und zum Theil unabsehbar tief sind. Ihre vertikalen, tiefblauen, von herabträufelndem Wasser feucht-

Fig. 30.



glänzenden Wände aus krystallklarem Eise bilden eines der prachtvollsten Schauspiele, welches die Natur uns darbietet, aber freilich ein Schauspiel, stark gewürzt mit dem aufregenden Interesse der Gefahr, und nur zu geniessen für Wanderer, die sich vollkommen frei von jeder Anwandlung von Schwindel fühlen. Man muss eben mit Hülfe scharf genagelter Schuhe und eines spitzen Alpenstocks auch auf schlüpfrigem Eise und am Rande eines senkrechten Absturzes, dessen Fuss sich im Dunkel der Nacht und in unbekannter Tiefe verliert, fest zu stehen wissen. Auch kann man solchen Spalten nicht immer aus dem Wege gehen, wenn man Gletscher überschreiten will; auf dem unteren Theile des Eismeers zum Beispiel, wo es von den Reisenden gewöhnlich überschritten wird, ist man gezwungen auf schmalen, zum Theil ziemlich abschüssigen Banken von Eis entlang zu schreiten, die zuweilen nur vier oder sechs Fuss breit sind und auf jeder Seite solch einen blauen Schlund neben sich haben. Schon mancher Wanderer, der an steilen Felsabhängen ohne Furcht entlang spaziert war, hat dort das Herz sinken gefühlt, und durfte sich doch nicht erlauben sein Auge von den gähnenden Abgründen abzuwenden, da er jeden Tritt für seine Füsse

Digitized by Google

vorher erst sorgfältig auswählen musste. Und dabei sind diese blauen Schlünde, wo sie offen zu Tage liegen, noch lange nicht die schlimmsten Gefahren des Gletschers, obgleich wir Menschen allerdings so organisirt sind, dass eine Gefahr, die wir sehen, und die wir eben deshalb auch sicher vermeiden können, uns mehr schreckt, als eine andere, von der wir zwar wissen, dass sie da ist, die aber durch einen leichten Schleier unseren Augen verhüllt ist. So ist es auch mit den Gletscherschlünden. Im unteren Theile der Gletscher gähnen sie uns Tod und Verderben drohend an und machen, dass wir scheu zurückweichend alle unsere Besonnenheit zusammennehmen, um ihnen zu entgehen; dort kommen wohl kaum Unglücksfälle vor. Auf den oberen Theilen der Gletscher dagegen ist die Oberfläche mit Schnee bedeckt; dieser wölbt sich, wenn er tief fällt, auch bald über die engeren Spalten von vier bis acht Fuss Breite fort, und bildet Brücken, die den Spalt vollständig verhüllen, so dass der Wanderer nur eine schöne ebene Schneefläche vor sich sieht. Sind die Schneebrücken dick genug, so tragen sie auch einen Menschen, aber sie sind es nicht immer, und das sind die Stellen, wo Menschen und selbst Gemsen so oft verunglücken. Das Mittel dieser Gefahr zu entgehen besteht bekanntlich darin, dass sich zwei oder drei Männer mit einem langen Strick aneinander binden, so dass sie in Zwischenräumen von zehn bis zwölf Fuss hinter einander einher gehen können. Stürzt einer in eine Spalte, so können die beiden anderen ihn halten und wieder herausziehen.

An einzelnen Orten kann man auch in die Spalten hineinsteigen, namentlich am unteren Ende der Gletscher. An den viel besuchten Gletschern von Grindelwald, Rosenlaui und anderen pflegt man dies den Reisenden dadurch zu erleichtern, dass Stufen gehauen und Bretter hineingelegt sind. Da kann man denn weit in die Spalten vordringen, wenn man das fortdauernd herabtriefende Wasser nicht fürchtet, und die wunderbar durchsichtigen und reinen Krystallwände dieser Höhlen bewundern. Die schöne blaue Farbe, welche sie zeigen, ist die natürliche Farbe des ganz reinen Wassers; das flüssige Wasser wie das Eis ist blau gefärbt, aber ausserordentlich wenig, so dass die Farbe nur an Schichten von zehn oder mehr Fuss Dicke sichtbar wird. Das Wasser des Genfer Sees und des Garda-Sees zeigt dieselbe prachtvolle Farbe wie das Eis.

Nicht überall sind die Gletscher gespalten; wo das Eis gegen ein Hinderniss andrängt, und auch in der Mitte grosser sich

Digitized by Google

gleichmässig hinziehender Gletscherströme ist die Oberfläche ganz zusammenhängend. Eine der ebeneren Stellen des Eismeers beim Montanvert, dessen Häuschen im Hintergrunde sichtbar ist, zeigt Fig. 31. Den Griesgletscher, wo er die Passhöhe zwischen dem obern Rhonethale und dem Tosathale bildet, kann man so-

Fig. 31.



gar zu Pferde überschreiten. Die grösste Zerrissenheit der Gletscherfläche finden wir dagegen an solchen Stellen, wo der Gletscher von einer wenig geneigten Stelle seines Bettes auf eine stärker geneigte übergeht. Da zerreisst dann das Eis nach allen Richtungen in eine Menge einzelner Blöcke, die durch Abschmelzen gewöhnlich in sonderbar geformte spitze Riffe und Pyramiden verwandelt werden, und von Zeit zu Zeit mit mächtigem Gepolter in die zwischenliegenden Spalten hinabstürzen. Von Weitem sieht eine solche Stelle wie ein wilder gefrorener Wasserfall aus, und wird deshalb auch Cascade genannt, eine solche Cascade zeigt der Glacier du Talèfre bei *l*, eine der Glacier du

Digitized by Google

Géant bei *g* Fig. 28, und eine dritte bildet das untere Ende des Eismeers. Diese letztere, der schon genannte Glacier du Bois, welche von der Thalsohle von Chamouni unmittelbar zur Höhe von 1700 Fuss sich erhebt, der Höhe des Königstuhls bei Heidelberg, ist immer ein Hauptgegenstand der Bewunderung für die Chamounifahrer. Eine Ansicht seiner wild zerrissenen Eisblöcke giebt Fig. 32.

Fig. 32.



Wir haben bisher die Gletscher ihrer äusseren Form und Erscheinung nach mit einem Strome verglichen; diese Aehnlichkeit ist aber nicht nur eine äusserliche, sondern das Eis des Gletschers bewegt sich in der That vorwärts, ähnlich dem Wasser in einem Strome, nur langsamer. Dass dies geschehen müsse, geht schon aus den Betrachtungen hervor, durch die ich Ihnen die Entstehung eines Gletschers zu erläutern versuchte. Da nämlich das Eis seines unteren Endes durch Schmelzung fortdauernd vermindert wird, so müsste es bald ganz schwinden, wenn nicht fort-

Digitized by Google

dauernd neue Masse von oben her nachrückte, welche selbst durch die Schneefälle auf den Firnmeeren immer wieder neu ergänzt wird.

Aber wir können uns von der Bewegung der Gletscher bei sorgfältiger Beobachtung auch durch das Auge überzeugen. Zuerst hat sie sich den Bewohnern des Thals, die solchen Gletscher immer vor Augen haben, ihn oft überschreiten und um ihren Weg zu finden, die grösseren auf ihm liegenden Steinblöcke als Merkzeichen benutzen, dadurch verrathen, dass diese Wegzeichen im Laufe jedes Jahres merklich nach abwärts wandern. Da auf der unteren Hälfte des Eismeers von Chamouni zum Beispiel das jährliche Fortrücken 400 bis 600 Fuss beträgt, so begreifen Sie, dass solche Verschiebungen trotz der Langsamkeit, mit der sie erfolgen, und trotz der chaotischen Verwirrung von Eisspalten und Steinmassen, die auf dem Gletscher herrscht, doch am Ende bemerkt werden müssen.

Ausser den Steinen werden auch andere Gegenstände, welche zufällig auf den Gletscher geriethen, mit fortgeschleppt. Im Jahre 1788 brachte der berühmte Genfer Naturforscher Saussure mit seinem Sohne und einer Caravane von Trägern und Führern sechszehn Tage auf dem Col du Géant zu; beim Herabsteigen an den Felsen zur Seite der Cascade des Glacier du Géant (*g* Fig. 33) liessen sie eine hölzerne Leiter dort zurück. Es war dies die Stelle am Fusse der Aiguille Noire, wo die vierte Gufferlinie des Eismeers beginnt; diese Linie bezeichnet gleichzeitig die Richtung, in welcher das Eis von dieser Stelle aus fortwandert. Im Jahre 1832, also 44 Jahre später, wurden Bruchstücke dieser Leiter von Forbes und anderen Reisenden nicht weit unterhalb des Vereinigungspunktes der drei Gletscher des Eismeeres in der genannten Gufferlinie, bei *s* Fig. 33 (a. f. S.), gefunden, woraus sich ergab, dass jene Theile des Gletschers in jedem Jahre im Mittel 375 Fuss abwärts gewandert waren.

Im Jahre 1827 hatte sich Hugi auf der Mittelmoräne des Unter-Aargletschers eine Hütte gebaut, um dort Beobachtungen anzustellen; der Ort dieser Hütte wurde von ihm selbst und später von Agassiz wieder bestimmt, und sie fand sich jedes Jahr weiter abwärts geschoben; 14 Jahre später, im Jahre 1841 stand sie 4884 Fuss tiefer, hatte also in jedem Jahre im Durchschnitt 349 Pariser Fuss zurückgelegt. Eine etwas geringere Bewegung fand Agassiz nachher an seiner eigenen Hütte, die er auf demselben Gletscher anlegte. Für die bisher erwähnten

Digitized by Google

Beobachtungen war eine lange Zwischenzeit nöthig. — Beobachtet man aber die Bewegung der Gletscher mit genauen Messinstru-

Fig. 33.



menten, zum Beispiel mit Theodolithen, wie sie die Feldmesser bei Vermessungen anwenden, so braucht man nicht Jahre zu warten, um die Bewegung des Eises zu erkennen, sondern ein einziger Tag genügt.

Dergleichen Beobachtungen sind in neuerer Zeit von mehreren Beobachtern, namentlich von Forbes und Tyndall angestellt worden. Danach rückt die Mitte des Eismeers im Sommer mit einer Geschwindigkeit von 20 Zoll auf den Tag vor, die gegen die untere Endcascade hin sich bis auf 35 Zoll täglich steigert. Im Winter ist die Geschwindigkeit etwa nur halb so gross. An den Seitenrändern des Gletschers und in seinen tieferen Schichten ist sie wie bei einem Wasserflusse ebenfalls beträchtlich kleiner als in der Mitte seiner Oberfläche.

Digitized by Google

Auch die oberen Zuflüsse des Eismeers haben eine geringere Bewegung; der Glacier du Géant von 13 Zoll täglich, der Glacier du Léchaud von 9½ Zoll. In verschiedenen Gletschern ist überhaupt die Geschwindigkeit im Allgemeinen sehr verschieden, je nach ihrer Grösse, ihrer Neigung, der Masse des Schneefalls und anderen Umständen.

So rückt also eine solche ungeheure Eismasse vor, ganz allmälig und leise, dem flüchtigen Beobachter nicht merklich, Stunde für Stunde etwa einen Zoll — 120 Jahre braucht das Eis des Col du Géant, um das untere Ende des Eismeers zu erreichen —, aber dabei schreitet es vorwärts mit einer unaufhaltsamen Gewalt, vor welcher Hindernisse, welche Menschen ihr entgegensetzen könnten, wie Strohhalme zerknicken, und deren Spuren, wie wir nachher sehen werden, selbst die granitenen Felswände des Thales deutlich erkennbar an sich tragen. Wenn nach einer Reihe feuchter Jahre bei reichlichem Schneefall in der Höhe das untere Ende eines Gletschers vorrückt, so drückt es nicht nur gelegentlich menschliche Wohnungen ein, und bricht kräftige Baumstämme ab, sondern auch die aus colossalen Steinblöcken aufgethürmten Wälle seiner Endmoräne, die ganz ansehnliche Hügelreihen bilden, schiebt der Gletscher vor sich her, ohne von ihnen scheinbar einen irgend in Betracht kommenden Widerstand zu erfahren.

Ein wahrhaft grossartiges Schauspiel diese Bewegung, so leise, so stetig und so unwiderstehlich und gewaltig!

Erwähnen will ich hier nur noch, dass sich aus der beschriebenen Bewegungsweise der Gletscher auch leicht ergiebt, an welchen Orten und in welchen Richtungen sich Spalten bilden müssen. Da nämlich nicht alle Schichten des Gletschers gleich schnell vorwärts schreiten, so bleiben einige Punkte desselben gegen andere zurück, zum Beispiel die Ränder gegen die Mitte. Dadurch wächst fort und fort die Entfernung eines beliebigen am Rande gelegenen Punktes von einem Punkte der Mitte, der anfangs mit ihm in gleicher Höhe lag, nachher aber sich schneller abwärts bewegt, und da das Eis zwischen je zwei solchen Punkten sich nicht ihrer wachsenden Entfernung entsprechend dehnen kann, zerreisst es und bildet Spalten, wie sie die in Fig. 34 gegebene Abbildung des Gornergletschers bei Zermatt längs des Randes des Gletschers sehen lässt. Es würde zu weit führen, wollte ich Ihnen die Erklärung für die Bildung der einzelnen regelmässigeren Spaltensysteme, wie sie sich an gewissen Stellen aller

Digitized by Google

Gletscher zu entwickeln pflegen, hier im Einzelnen geben; es mag genügen zu erwähnen, dass die Folgerungen aus den angegebenen Betrachtungen mit den Beobachtungen an den Gletschern gut übereinstimmen.

Fig. 34.



Nur will ich noch darauf aufmerksam machen, wie ausserordentlich kleine Verschiebungen genügen, um das Eis Hunderte von Spalten bilden zu machen. Der Querschnitt des Eismeers (Fig. 35 bei *g*, *c*, *h*) zeigt Ihnen Stellen, wo eine kaum merkliche Aenderung in der Neigung der Oberfläche des Eises vorkommt, von 2 bis 4 Winkelgraden. Diese genügt, um ein System quer laufender Spalten an der Oberfläche hervorzubringen. Tyndall namentlich hat es hervorgehoben und durch Rechnungen und Messungen bestätigt, dass die Eismasse der Gletscher nicht im allergeringsten Maasse nachgiebig gegen Dehnung ist, sondern unter dem Einflusse einer solchen stets auseinander reisst.

Auch die Vertheilung der Steine auf der Oberfläche der Gletscher erklärt sich leicht, wenn wir ihre Bewegung berücksichtigen. Diese Steine sind Trümmer der Berge, zwischen denen der Glet-

Digitized by Google

scher fliesst. Theils durch Verwitterung des Gesteins, theils durch Gefrieren des Wassers in seinen Spalten abgesprengt, fallen sie, und zwar meist auf den Rand der Eismasse. Dort bleiben sie entweder gleich auf der Oberfläche liegen, oder wenn sie sich auch anfangs tief in den Schnee einwühlen, kommen sie doch schliesslich durch Abschmelzen der oberflächlichen Lagen des Eises und des Schnees wieder zu Tage und drängen sich namentlich am untern Ende des Gletschers, wo das Eis zwischen ihnen mehr und mehr geschwunden ist, zusammen. Die Grösse der Blöcke, welche vom Eise allmälig herunter getragen werden zum unteren Ende des Gletschers, ist zum Theil ganz colossal. Es kommen solide Felsblöcke dieser Art in alten und neuen Endmoränen vor, von der Grösse eines zweistöckigen Hauses.

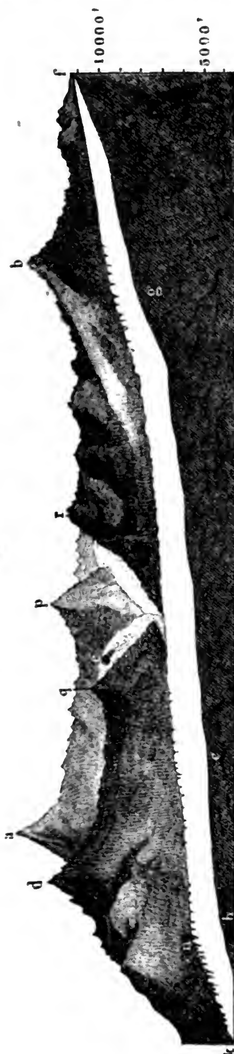


Fig. 35.

Die Steinblöcke bewegen sich fort in Linien, welche unter einander und der Längsrichtung des Gletschers immer nahehin parallel sind. Die also einmal in der Mitte des Eisstroms liegen, bleiben in der Mitte, die am Rande liegen, bleiben am Rande. Die letzteren sind die zahlreicheren, weil während des ganzen Laufes des Gletschers immer neue Steine auf den Rand, nicht aber auf die Mitte stürzen können. So bilden sich auf dem Rande der Eismasse die Seitenmoränen, deren Blöcke zum Theil sich mit dem Eise bewegen, theils aber herabgleiten und auf dem

Digitized by Google

festen Felsboden neben dem Eise liegen bleiben. Wenn aber zwei Gletscherströme sich vereinigen, dann kommen deren zusammenstossende Seitenmoränen auf die Mitte des vereinigten Eisstroms zu liegen, und rücken dann auf diesem, wie schon erwähnt wurde, als Mittelmoränen immer einander und den Ufern des Stromes parallel vorwärts, und zeigen bis zum untern Ende hin die Grenzlinie des Eises an, welches ursprünglich dem einen oder andern Gletscherarme angehörte. Sie sind sehr merkwürdig, weil sie zeigen, in wie regelmässigen parallelen Bändern die einzelnen neben einander liegenden Theile des Eisstroms nach abwärts gleiten. Ein Blick auf die Karte des Eismeers und dessen vier Mittelmoränen zeigt dies sehr deutlich.

Auf dem Glacier du Géant und seiner Fortsetzung im Eismeere zeichnen die auf der Oberfläche des Eises verstreuten Steine in abwechselnd graueren und weisseren Bändern eine Art von Jahresringen des Eises ab, die zuerst von Forbes bemerkt wurden. Dadurch dass in der Cascade bei *g*, Fig. 35, im Sommer mehr Eis herabgleitet, als im Winter, wird die Oberfläche des Gletschers unterhalb der Cascade terrassenförmig, wie die Zeichnung andeutet, und da die gegen Norden sehenden Abhänge dieser Terrassen weniger abschmelzen, als ihre oberen ebenen Flächen, so zeigen jene reineres Eis als diese. So entstehen wahrscheinlich diese Schmutzbänder nach Tyndall. Sie laufen zuerst ziemlich gestreckt quer über den Gletscher; indem aber nachher ihre Mitte schneller fortrückt als ihre Enden, so bekommen sie weiter unten eine bogenförmige Gestalt, die in der Karte Fig. 33 angedeutet ist. So zeigen sie dem Beschauer unmittelbar durch ihre Krümmung die verschiedene Geschwindigkeit, mit der das Eis in verschiedenen Stellen seines Stromlaufs vorrückt.

Eine besondere Rolle endlich spielen andere Steine, die in die untere Fläche der Eismasse eingebacken sind, und welche theils durch Spalten da hinab gestürzt, theils vom Boden des Thales losgelöst sein mögen. Diese Steine nämlich werden mit dem Eise allmälig über den Boden des Gletscherthales hingeschoben, indem sie gleichzeitig durch die ungeheure Last des über ihnen ruhenden Eises gegen diesen Boden angepresst werden. Beide, die in das Eis eingebackenen Steine wie die Felsen des Bodens, sind gleich hart, werden aber durch ihre gegenseitige Reibung zu Staub zermalmt mit einer Gewalt, gegen welche jede menschliche Kraftleistung verschwindet. Das Product dieser Reibung ist ein äusserst feiner Steinstaub, der, vom Wasser fortge-

Digitized by Google

schwemmt, unten im Gletscherbach zum Vorschein kommt, und diesem in der Regel ein weissliches oder gelbliches, schlammiges Aussehen verleiht. Die Felsen des Thalbodens dagegen, an denen der Gletscher Jahr aus Jahr ein seine abreibende Kraft ausübt, werden abgeschliffen, wie von einer ungeheuren Polirmaschine. Sie bleiben zurück in Form von rundlichen glatt polirten Höckern, auf denen hier und da feine Kratzen von einzelnen härteren Steinen eingerissen sind. So sehen wir sie am Rande jetzt bestehender Gletscher zum Vorschein kommen, wenn deren Eismasse nach einer Reihe heisser und trockener Jahre sich etwas zurückzieht. Aber in viel grösserer Ausdehnung finden wir solche abgeschliffene Felsen als Reste alter riesiger Gletscher in den unteren Theilen vieler Alpenthäler. Namentlich im Thale der Aar, abwärts bis Meyringen, sind die hoch hinauf abgeschliffenen Felswände äusserst charakteristisch. Dort befinden sich auch die berühmten polirten Steinplatten, über welche der Weg führt, und die so glatt sind, dass man durch eingehauene Reifen es Menschen und Pferden hat ermöglichen müssen, sicher darüber zu gehen.

Neben diesen abgeschliffenen Felsen sind es auch alte Moränendämme und fortgeschleppte Steinblöcke, welche die ungeheure frühere Ausdehnung der Gletscher erkennen lassen. Die durch Gletscher fortgetragenen Steinblöcke unterscheiden sich von denen, die Wasser herabgewälzt hat, durch ihre ungeheure Grösse, durch die vollkommene Erhaltung aller ihrer Ecken, die nicht abgerollt sind, und endlich namentlich dadurch, dass sie vom Gletscher genau in derselben Reihenfolge neben einander abgelagert werden, wie die Felsarten, denen sie entnommen sind, oben im Gebirgskamm anstehen, während Wasserströme die Steine, die sie fortrollen, alle unter einander mischen.

Gestützt auf diese Kennzeichen sind die Geologen im Stande gewesen nachzuweisen, dass die Gletscher von Chamouni, vom Monte Rosa, vom Gotthard und den Berner Alpen ehemals durch das Thal der Arve, Rhone, Aare und des Rheins bis in den ebeneren Theil der Schweiz und bis zum Jura vordrangen, wo sie ihre Blöcke in der Höhe von mehr als 1000 Fuss über dem jetzigen Niveau des Neufchateller Sees abgelagert haben. Aehnliche Spuren alter Gletscher findet man auf den Gebirgen der britischen Inseln und der skandinavischen Halbinsel.

Auch das Treibeis der nordischen Meere ist Gletschereis; es wird von den Gletschern Grönlands in das Meer hineingeschoben, löst sich von der übrigen Eismasse des Gletschers los und

schwimmt davon. In der Schweiz finden wir in kleinerem Maassstabe solche Treibeisbildung auf dem kleinen Märjelensee, in den sich ein Theil der Eismassen des grossen Aletschgletschers hineinschiebt. Steinblöcke, die im Treibeis liegen, können grosse Reisen über das Meer machen. Wahrscheinlich ist die ungeheure Zahl von Granitblöcken, welche in der norddeutschen Ebene sich finden, und deren Granit den skandinavischen Gebirgen angehört, durch Treibeis hinübergetragen worden in derselben Zeitperiode, wo die Gletscher der europäischen Gebirge eine so ungeheure Ausdehnung hatten.

Ich muss mich leider begnügen mit diesen wenigen Andeutungen über die alte Geschichte der Gletscher, und zurückkehren zu den Vorgängen in den jetzigen Gletschern.

Aus den Thatsachen, die ich Ihnen vorgeführt habe, ergiebt sich, dass das Eis eines Gletschers langsam fliesst, ähnlich einem Strome einer sehr zähflüssigen Substanz, wie etwa Honig, Theer oder ein dicker Thonbrei. Die Eismasse gleitet nicht nur einfach über den Boden hin, wie ein fester Körper, der einen Abhang hinabrutscht, sondern sie biegt sich und verschiebt sich in sich selbst, und obgleich sie dabei auch über den Boden des Thals hingleitet, so werden doch die Theile, welche Boden und Wände des Thals berühren, durch die starke Reibung sichtlich aufgehalten; dagegen bewegt sich die Mitte der Oberfläche des Gletschers, welche dem Boden und den Wänden des Thales am fernsten ist, am schnellsten. Es waren zuerst Rendu, ein savoyischer Geistlicher, und der berühmte schottische Naturforscher Forbes, welche die Aehnlichkeit der Gletscher mit einem Strome zähflüssiger Substanz hervorhoben.

Sie werden nun verwundert fragen: Wie ist es möglich, dass Eis, die sprödeste und zerbrechlichste aller bekannten festen Substanzen, im Gletscher gleich einer zähflüssigen Masse fliessen soll? und werden vielleicht geneigt sein, dies für eine der unnatürlichsten und abenteuerlichsten Behauptungen zu erklären, welche je von den Naturforschern aufgestellt worden ist. Ich will auch sogleich einräumen, dass die Naturforscher selbst nicht wenig in Verlegenheit gesetzt waren durch diese Ergebnisse ihrer Untersuchungen. Aber die Thatsachen waren da und liessen sich nicht wegläugnen. Wie diese Art von Bewegung des Eises aber zu Stande kommen könne, blieb lange durchaus räthselhaft, um so mehr, da die bekannte Brüchigkeit des Eises sich auch in den Gletschern durch die zahlreichen Spaltenbildungen zeigte

und, wie **Tyndall** richtig hervorhob, darin wieder ein wesentlicher Unterschied der Eisströme von dem Fluss der Lava, des Theers, des Honigs oder eines Schlammstroms liegt.

Die Lösung dieses wunderlichen Räthsels ergab sich — wie das in den Naturwissenschaften so oft vorkommt — aus scheinbar fernab liegenden Untersuchungen über die Natur der Wärme, welche eine der wichtigsten Errungenschaften der neueren Physik bilden, und gewöhnlich unter dem Namen der mechanischen Wärmetheorie zusammengefasst werden. Unter einer grossen Zahl von Folgerungen über die Beziehungen der verschiedensten Naturkräfte zu einander ergeben die Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie auch gewisse Schlüsse über die Abhängigkeit des Gefrierpunktes des Wassers von dem Druck, dem Eis und Wasser ausgesetzt sind.

Wir bestimmen bekanntlich den einen festen Punkt unserer Thermometerscala, den wir den Gefrierpunkt oder Null Grad zu nennen pflegen, dadurch, dass wir das Thermometer in ein Gemisch von reinem Wasser und Eis setzen. Wasser kann — wenigstens wenn es mit Eis in Berührung ist — nicht weiter abgekühlt werden als bis zum Gefrierpunkte, ohne selbst zu Eis zu werden; Eis kann nicht höher erwärmt werden, als bis zum Gefrierpunkte, ohne zu schmelzen. Eis und Wasser neben einander können also nur bei der einzigen festen Temperatur von 0° bestehen.

Sucht man ein solches Gemisch zu erwärmen durch eine untergesetzte Flamme, so schmilzt das Eis, aber die Temperatur des Gemisches wird durch die zugeleitete Wärme nicht über 0° erhöht, so lange noch etwas Eis ungeschmolzen ist. Durch die zugeleitete Wärme wird also Eis von 0° in Wasser von 0° verwandelt, während für das Thermometer keine merkliche Temperaturerhöhung eingetreten ist. Die Physiker sagen deshalb, die zugeleitete Wärme sei latent geworden, und Wasser von 0° enthalte eine gewisse Menge latenter Wärme mehr als Eis von derselben Temperatur.

Umgekehrt, wenn wir dem Gemische von Eis und Wasser noch weiter Wärme entziehen, so gefriert allmälig das Wasser, aber so lange noch etwas ungefrorenes Wasser da ist, bleibt die Temperatur von 0° bestehen. Das Wasser von 0° hat dabei seine latente Wärme abgegeben und ist in Eis von 0° übergegangen.

Ein Gletscher ist nun eine Eismasse, welche überall mit Wasseräderchen durchrieselt ist, und deshalb in ihrem Innern überall die Temperatur des Gefrierpunktes hat. Selbst die tieferen

Digitized by Google

Schichten der Firnmeere scheinen auf den Höhen, die in unserer Alpenkette vorkommen, überall dieselbe Temperatur zu haben. Denn wenn auch der frisch gefallene Schnee jener Höhen meist kälter als 0° sein mag, so schmelzen die ersten Stunden warmen Sonnenscheins seine Oberfläche und bilden Wasser, welches in die tieferen kälteren Schichten einsickert, und in diesen so lange wieder gefriert, bis sie durch und durch auf die Temperatur des Gefrierpunktes gebracht worden sind. Diese Temperatur bleibt dann unveränderlich dieselbe. Denn durch die warmen Sonnenstrahlen kann die Oberfläche des Eises wohl abgeschmolzen, aber nicht über 0° erwärmt werden, und die Winterkälte dringt in die schlecht wärmeleitenden Schnee- und Eismassen nicht tief ein, ebenso wenig wie in unsere Keller. Somit behält das Innere der Firnmeere wie der Gletscher unveränderlich die Temperatur des Gefrierpunktes.

Aber die Temperatur des Gefrierpunktes des Wassers kann durch starken Druck verändert werden. Es wurde dies zuerst von James Thomson in Belfast und fast gleichzeitig von Clausius in Zürich aus der mechanischen Wärmetheorie gefolgert, und es konnte sogar die Grösse dieser Veränderung mittels derselben Schlüsse richtig vorausgesagt werden. Es sinkt nämlich für den Druck je einer Atmosphäre der Gefrierpunkt um $^1/_{144}$ eines Reaumur'schen Grades. Der Bruder des erstgenannten, W. Thomson, der berühmte Physiker von Glasgow, bestätigte durch den Versuch die Folgerung aus der Theorie, indem er ein Gemisch von Eis und Wasser in einem passenden festen Gefässe comprimirte. Dasselbe wurde in der That kälter und kälter, je mehr er den Druck steigerte, und zwar genau um so viel, als die mechanische Wärmetheorie verlangte.

Wenn nun unter Einwirkung des Druckes ein Gemisch von Wasser und Eis kälter wird, als es vorher war, ohne dass ihm doch dabei Wärme entzogen wird, so kann das nur geschehen, indem freie Wärme latent wird, das heisst, indem etwas Eis in dem Gemische schmilzt und zu Wasser wird. Darin liegt auch der Grund, dass mechanischer Druck auf den Gefrierpunkt einwirken kann. Sie wissen, dass Eis mehr Raum einnimmt, als das Wasser, aus dem es entsteht. Wenn Wasser in einem verschlossenen Gefässe gefriert, so sprengt es ja bekanntlich nicht nur gläserne Flaschen, sondern selbst eiserne Bomben. Dadurch also, dass in dem zusammengepressten Gemische von Eis und Wasser etwas Eis schmilzt und zu Wasser wird, verringert sich

Digitized by Google

das Volumen der Masse, und die Masse kann dem Drucke, der auf ihr lastet, mehr nachgeben, als sie ohne eine solche Veränderung des Gefrierpunktes gekonnt hätte. Der mechanische Druck begünstigt hier, wie dies meistentheils bei der Wechselwirkung verschiedener Naturkräfte gegen einander zu geschehen pflegt, das Eintreten einer solchen Veränderung, nämlich der Schmelzung, welche der Entfaltung seiner eigenen Wirksamkeit günstig ist.

Bei dem erwähnten Versuche von W. Thomson war Wasser und Eis zusammen in einem festen Gefässe eingeschlossen, aus dem nichts entweichen konnte. Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn, wie das auch in den Gletschern der Fall ist, das zwischen dem zusammengepressten Eise befindliche Wasser durch Spalten entweichen kann. Dann wird zwar das Eis gepresst, aber nicht das Wasser, welches ausweicht. Das gepresste Eis wird dann kälter, entsprechend der Erniedrigung seines Gefrierpunktes durch den Druck, aber der Gefrierpunkt des Wassers, welches nicht zusammengepresst wird, wird nicht erniedrigt. So haben wir unter diesen Umständen Eis kälter als 0° in Berührung mit Wasser von der Temperatur 0°. Die Folge davon wird sein, dass fortdauernd rings um das gepresste Eis Wasser gefriert und neues Eis bildet, während dafür ein Theil des gepressten Eises fortschmilzt.

Dies geschieht zum Beispiel schon, wenn nur zwei Eisstücke an einander gepresst werden; dabei werden sie durch das an ihrer Berührungsfläche gefrierende Wasser fest mit einander vereinigt, und in ein zusammenhängendes Stück Eis vereinigt. Bei starkem Druck, der das Eis auch stärker erkältet, geschieht dies schnell, aber auch bei sehr schwachem Drucke kann es geschehen, wenn man nur lange genug wartet. Faraday, der dieses Phänomen entdeckt hat, nannte es Regelation des Eises; über die Erklärung desselben ist viel gestritten worden; ich habe Ihnen hier diejenige vorgetragen, welche ich für die genügendste halte.

Dieses Zusammenfrieren zweier Eisstücke bringt man sehr leicht zu Stande mit zwei beliebig gestalteten Stücken, die aber nicht kälter als 0° sein dürfen, am besten wenn sie schon im Schmelzen begriffen sind [1]). Man braucht sie nur wenige Augenblicke hindurch kräftig an einander zu pressen, so hatten sie an

[1]) In der Vorlesung wurde eine Reihe kleiner Eiscylinder, die nach einer später zu beschreibenden Methode erzeugt waren, mit ihren ebenen Endflächen auf einander gepresst, und so ein cylindrischer Stab von Eis erzeugt.

Digitized by Google

einander. Je ebener die sich berührenden Flächen sind, desto fester verschmelzen sie mit einander. Aber selbst sehr geringer Druck genügt, wenn man die beiden Eisstücke sehr lange Zeit in gegenseitiger Berührung lässt [1]).

Die genannte Eigenschaft des schmelzenden Eises wird auch von den Knaben ausgebeutet, wenn sie Schneebälle und Schneemänner machen. Es ist bekannt, dass dies nur gelingt, wenn der Schnee entweder schon im Schmelzen begriffen ist, oder wenigstens nur so wenig kälter als 0° ist, dass er durch die Wärme der Hand leicht bis zu der genannten Temperatur erwärmt werden kann. Sehr kalter Schnee ist ein trocknes loses Pulver und haftet nicht zusammen.

Was nun Kinder, welche Schneebälle machen, im Kleinen thun, das geht im allergrössesten Maassstabe in den Gletschern vor sich. Die tieferen Lagen des ursprünglich lockeren und feinpulverigen Firnschnees werden zusammengedrückt durch die über ihnen liegenden, oft viele hundert Fuss aufgethürmten Schneemassen und ballen sich unter diesem Druck zu immer festerem und dichterem Gefüge zusammen. Ursprünglich besteht der frisch gefallene Schnee aus zarten, mikroskopisch feinen Eisnadelchen, die zu ungemein zierlichen sechsstrahligen und federähnlich ausgefranseten Sternen zusammengesetzt sind. Dadurch, dass von den oberen Lagen der Schneefelder her, so oft diese der Sonnenwärme ausgesetzt sind, Wasser einsickert, und wo es in den tieferen Lagen noch kälteren Schnee antrifft, wieder gefriert, wird der Firn zuerst körnig und auf die Temperatur des Gefrierpunktes gebracht. Indem nun aber das Gewicht der überlagernden Schneemassen immer mehr und mehr wächst, verwandelt er sich durch festeres Aneinanderhaften seiner einzelnen Körnchen endlich in eine ganz dichte und harte Eismasse.

Wir können diese Verwandlung von Schnee in Eis auch künstlich vollziehen, wenn wir einen entsprechenden Druck anwenden.

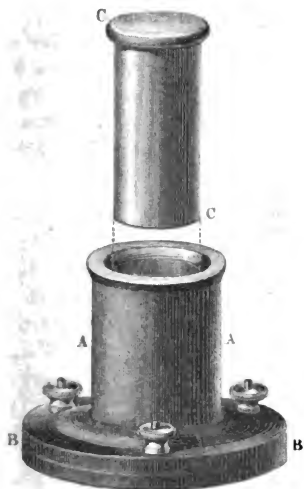
Sie sehen hier (Fig. 36 a. f. S.) ein cylindrisches Gefäss *AA* aus Gusseisen; die Bodenplatte *BB* wird durch drei Schrauben festgehalten, und kann abgenommen werden, um die in dem Cylinder gebildeten Eiscylinder herauszunehmen. Nachdem das Gefäss eine Weile in Eiswasser gelegen hat, um es bis 0° abzukühlen, wird es mit Schnee vollgestopft und dann der cylindrische Stempel *CC*, der die innere Höhlung ausfüllt, aber noch leicht in ihr

[1]) Siehe die Zusätze am Schlusse dieser Vorlesung.

Digitized by Google

gleitet, mit Hülfe einer hydraulischen Presse hineingetrieben. Die angewendete Presse erlaubt den Druck, dem der Schnee ausgesetzt ist, bis auf funfzig Atmosphären zu steigern. Natürlich schwindet der lockere Schnee unter einem so gewaltigen Drucke in ein sehr kleines Volumen zusammen. Man lässt mit dem Drucke nach, nimmt den Stempel heraus, füllt den leeren Theil des Cylinders wieder mit Schnee aus, presst wieder, und fährt so fort, bis die ganze Höhlung der Form mit Eismasse angefüllt ist, die dem Drucke nicht mehr nachgiebt. Wenn ich nun den gepressten Schnee herausnehme, werden Sie sehen, dass er zu einem ganz harten, scharfkantigen und trübe durchscheinenden Eiscylinder geworden ist. Wie hart er ist, werden Sie an dem Krachen hören, mit dem er zerschellt, wenn ich ihn gegen den Boden schleudere.

Fig. 36.



So wie der Firnschnee in den Gletschern zu dichtem Eise zusammengepresst wird, so werden nun aber auch fertig gebildete unregelmässige Eisstücke an vielen Stellen wieder in dichtes klares Eis vereinigt. Am auffallendsten geschieht dies am Fusse der Gletschercascaden. Es kommen Gletscherfälle vor, wo ein oberer Theil des Gletschers an einer steilen Felswand endigt, und seine Eisblöcke nach einander als Lavinen über den Rand dieser Wand hinabstürzen. Das Haufwerk von zerschellten Eisblöcken, welches sich in Folge davon unten ansammelt, vereinigt sich dann wieder am Fusse der Felswand zu einer zusammenhängenden dichten Eismasse, welche ihren Weg als Gletscher unten fortsetzt. Sehr viel häufiger noch als solche Cascaden, wo der Gletscherstrom ganz abreisst, sind aber Stellen, wo der Thalboden sich schneller senkt, wie die schon vorher erwähnten Stellen des Eismeers Fig. 33 bei *g*, der Cascade des Glacier du Géant, bei *i* und bei *h* der grossen Endcascade des Glacier des Bois. Da zerspaltet das Eis in Tausende von Bänken und Klippen, die sich doch wieder am unte-

Digitized by Google

ren Ende der steileren Senkung zu einer zusammenhängenden Masse vereinigen.

Auch dies können wir nachmachen in unserer eisernen Form; ich werfe statt des Schnees, den ich vorher hineinthat, nun eine Anzahl unregelmässig geformter Eisstückchen hinein und presse sie zusammen; fülle dann neue Eisstücke nach, presse wieder und fahre damit fort bis die Form voll ist. Wenn ich die Masse herausnehme, so bildet sie einen zusammenhängenden festen Cylinder von ziemlich klarem Eise, welcher vollkommen scharfkantig ausgepresst ist und sich vollkommen genau der inneren Fläche der Form anfügt.

Dieser Versuch, der von Tyndall zuerst ausgeführt wurde, zeigt, dass auch ein fertiger Eisblock wie Wachs in eine jede beliebige Form gepresst werden kann. Man könnte nun etwa daran denken, dass ein solcher Block durch den Druck im Innern der Presse erst zu so feinem Pulver zermalmt würde, dass es sich in jede Ecke der Form einfügen kann, und dass dann dieses Eispulver, wie Schnee, wieder durch Zusammenfrieren vereinigt würde. Man könnte daran um so mehr denken, als man in der That, während die Presse angetrieben wird, fortdauerndes Knarren und Knacken des Eises im Innern der Form hört. Indessen schon das Ansehen der aus Eisblöcken gepressten Cylinder kann uns belehren, dass sie nicht in dieser Weise entstanden sind. Sie sind nämlich im Ganzen klarer als das aus Schnee entstandene Eis, und man erkennt in ihnen noch die einzelnen grösseren Eisstücke, freilich in veränderter und plattgepresster Form wieder, die man dabei verwendet hat. Am schönsten ist dies der Fall, wenn man in die Form klare Eisstücke legt und die übrig bleibenden Hohlräume mit Schnee ausstopft. Dann zeigt der Cylinder abwechselnde Schichten klaren und trüben Eises; ersteres von den Eisstücken, letzteres vom Schnee herrührend. Die klaren Eisstücke zeigen sich aber auch in diesem Falle in platte Scheiben zusammengepresst.

Diese Beobachtungen lehren also schon, dass das Eis nicht etwa vorher vollständig zertrümmert zu werden braucht, um sich in die vorgeschriebene Form zu fügen, sondern dass es nachgeben kann, ohne seinen Zusammenhang zu verlieren. Wir können uns davon aber in noch viel auffallenderer Weise überzeugen und zugleich einen besseren Einblick in den Grund der Nachgiebigkeit des Eises gewinnen, wenn wir das Eis nicht in der verschlossenen

Digitized by Google

Form, in die wir nicht hineinsehen können, sondern frei zwischen zwei ebenen Holzplatten zusammenpressen.

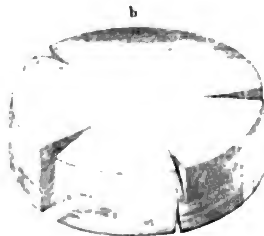
Ich stelle zunächst ein unregelmässig cylindrisches Stück natürlichen Eises, von der gefrorenen Oberfläche des Flusses entnommen, und mit zwei ebenen Endflächen versehen zwischen die Platten der Presse. Ich treibe die Presse an; durch den Druck wird der Block zerbrochen; jeder Riss, der sich bildet, läuft durch die ganze Dicke des Blocks, dieser zerfällt in einen Haufen von grösseren Trümmern, die noch weiter zerspalten und zerbrochen werden, indem ich die Presse weiter antreibe. Lasse ich mit dem Drucke nach, so sind alle diese Eisträmmer allerdings durch Zusammenfrieren wieder zu einer Art unregelmässiger Platte vereinigt, aber man sieht es dem Ganzen an, dass die Form des Eisblockes weniger durch Nachgiebigkeit als durch Zerbrechen verändert worden ist, und dass die einzelnen Bruchstücke ihre Lage gegen einander vollständig geändert haben.

Sehr viel anders gestaltet sich die Sache, wenn ich einen von unseren aus Schnee oder Eis gepressten Cylindern zwischen die Platten der Presse stelle. So oft ich die Presse antreibe, hört man auch diesen knarren und knacken, aber er bricht nicht aus einander, er verändert vielmehr ganz allmälig seine Form, wird immer niedriger, dafür aber dicker, und erst zuletzt, wenn derselbe sich schon in eine ziemlich platte Kreisscheibe verwandelt hat, fängt er an, am Rande einzureissen und Spalten zu bilden, gleichsam Gletscherspalten im Kleinen. Fig. 37 zeigt Höhe und Durchmesser eines solchen Cylinders in seinem Anfangszustande, dagegen Fig. 38 dieselben nach der Einwirkung der Presse.

Fig. 37.



Fig. 38.



Digitized by Google

Eine noch stärkere Probe für die Nachgiebigkeit des Eises aber ist es, wenn wir einen unserer in der Form gepressten Cylinder durch eine enge Oeffnung hindurchtreiben. Dazu setze ich eine Bodenplatte an die vorher beschriebene cylindrische Form an, welche eine konisch sich verengernde Durchbohrung hat, deren äussere Oeffnung einen nur $^2/_3$ so grossen Durchmesser als die cylindrische Höhlung der Form hat (Fig. 39 zeigt einen Querschnitt des Ganzen). Wenn ich nun in die Form einen der vorher darin gepressten Eiscylinder einsetze, und den Stempel antreibe, so wird das Eis gezwungen, sich durch die engere Oeffnung in der Bodenplatte hindurch zu drängen. Man sieht es nun anfangs als einen soliden Cylinder von dem Durchmesser der Oeffnung austreten. Da aber in der Mitte der Oeffnung das Eis schneller nachdrängt als an ihren Rändern, so wölbt sich die freie Endfläche des Cylinders, sein Ende verdickt sich, so dass es nicht mehr durch die Oeffnung zurückgezogen werden kann, und spaltet endlich auf. Fig. 40. *a*, *b*, *c*, zeigt eine Reihe von Formen, die in dieser Weise zu Stande kommen.

Fig. 39.

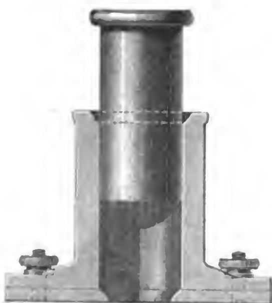
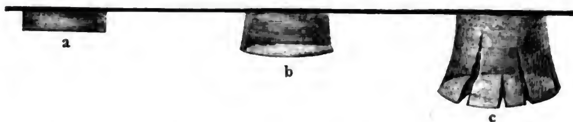


Fig. 40.



Auch in diesem Falle zeigen die Spalten des hervorquellenden Eiscylinders eine auffallende Aehnlichkeit mit den longitudinalen Spalten, die einen Gletscherstrom zertheilen, wo ein solcher sich durch ein enges Felsenthor in ein weiteres Thal hinausdrängt [1]).

---

[1]) Bei diesem Versuche verbreitete sich die niedrigere Temperatur des gepressten Eises zuweilen so weit durch die eiserne Form, dass das Wasser in dem Spalt zwischen der Bodenplatte und dem Cylinder zu einem dünnen Eisblatt gefror, obgleich die Eisstücke sowohl wie die eiserne Form vorher in Eiswasser lagen, und also nicht kälter als 0° waren.

Digitized by Google

In den beschriebenen Fällen sehen wir nun die Formveränderung des Eises vor unseren Augen vorgehen, wobei der Eisblock im Ganzen seinen Zusammenhang behält, ohne in einzelne Stücke zu zerspringen. Der spröde Eisblock giebt vielmehr scheinbar nach wie Wachs.

Eine genauere Betrachtung eines klaren, aus klaren Eisstücken zusammengepressten Cylinders in den Momenten, wo wir die Presse antreiben, lässt uns aber auch erkennen, was in seinem Innern geschieht. Wir sehen nämlich dann eine unermessliche Zahl äusserst feiner verzweigter Sprünge wie eine trübe Wolke durch ihn hinschiessen, die zum grossen Theil in den nächsten Augenblicken, wenn man die Presse ruhen lässt, wieder verschwinden, aber doch nicht ganz. Ein solcher umgepresster Block ist unmittelbar nach dem Versuche merklich trüber, als er vorher war, und die Trübung rührt, wie man durch die Loupe erkennen kann, von einer grossen Zahl haarfeiner weisslicher Linien her, welche das Innere der übrigens klaren Eismasse durchziehen. Diese Linien sind der optische Ausdruck äusserst feiner Spalten [1], welche sich durch die Masse des Eises hinziehen.

Wir dürfen daraus schliessen, dass der gepresste Eisblock von einer grossen Zahl feiner Sprünge und Spalten durchrissen wird, dass er dadurch nachgiebig wird, dass seine Theilchen sich ein wenig verschieben und dadurch dem Drucke entziehen, und dass unmittelbar hinterher der grössere Theil der Spaltensysteme durch Zusammenfrieren wieder verschwindet; und nur, wo durch die Verschiebung bewirkt ist, dass die Oberflächen der kleinen verschobenen Eispartikelchen nicht genau auf einander passen, bleiben Reste der Spalträume offen, und verrathen sich durch Reflexion des eindringenden Lichtes als weissliche Linien und Flächen.

Diese Sprünge und Trennungsflächen in dem gepressten Eise

---

[1] Diese Spalten sind wahrscheinlich ohne Inhalt und luftleer; denn sie bilden sich auch ebenso aus, wenn man klare luftfreie Eisstücke in der ganz mit Wasser gefüllten eisernen Form zusammenpresst, wo gar keine Luft zu den Eisstücken zutreten kann. Dass dergleichen luftfreie Spalträume im Gletschereis vorkommen, hat schon Tyndall nachgewiesen. Wenn das gepresste Eis später langsam zerschmilzt, füllen sich diese Spalten vollständig mit Wasser aus, ohne dass Luftblasen zurückbleiben. Dann werden sie aber sehr viel weniger sichtbar, und der ganze Block daher viel klarer. Eben deshalb können sie im Anfang nicht mit Wasser gefüllt sein.

Digitized by Google

machen sich auch weiter sehr merklich, wenn das Eis, welches unmittelbar nach dem Pressen, wie ich vorher auseinandersetzte, kälter geworden ist, als 0°, sich wieder bis zu dieser Temperatur erwärmt, und allmälig in das Schmelzen übergeht. Dann füllen sich nämlich die Spalten mit Wasser, und solches Eis besteht dann aus einer Menge kleiner stecknadelkopf- bis erbsengrosser Eiskörner, die mit ihren Vorsprüngen und Zacken eng ineinander geschoben sind, und stellenweise auch wohl noch verwachsen sind, während sich die engen Spalten zwischen ihnen mit Wasser gefüllt haben. Ein solcher aus Eiskörnern zusammengesetzter Block haftet fest zusammen, bricht man aber von seinen Kanten mit dem Fingernagel Eistheilchen los, so zeigen sich diese in Gestalt solcher vieleckiger Körnchen. Genau dieselbe Zusammensetzung zeigt übrigens schmelzendes Gletschereis, nur dass die Stücke, aus denen es zusammengesetzt ist, meist grösser sind, als in dem künstlich gepressten Eise, und die Grösse von Taubeneiern erreichen.

Gletschereis und gepresstes Eis erweisen sich also als Substanzen von körniger Structur im Gegensatz zu dem regelmässig krystallinischen Eise, wie es sich auf der Oberfläche ruhiger Gewässer ausbildet. Wir finden hier beim Eise denselben Unterschied, wie zwischen Kalkspath und Marmor, welche beide aus kohlensaurem Kalk bestehen; jener bildet aber regelmässige grosse Krystalle, während der Marmor aus unregelmässig zusammengebackenen krystallinischen Körnern besteht. Im Kalkspath wie in dem krystallinischen Eise erstrecken sich Sprünge, die man durch ein angesetztes Messer hervorbringt, weit hin durch die Masse, während in dem körnigen Eise ein Sprung, der in einem der Körner entsteht, wo es nachgeben muss, nicht nothwendig über die Grenzen des Korns hinausreisst.

Eis, was künstlich aus Schnee gepresst wurde, und daher von Anfang an aus unzähligen, sehr feinen Krystallnadelchen zusammengesetzt ist, zeigt sich als besonders plastisch. Doch unterscheidet es sich zunächst im Aussehen sehr beträchtlich vom Gletschereis, weil es sehr trübe ist, wegen der grossen Menge von Luft, die in der flockigen Masse des Schnees eingeschlossen war, und in Form feiner Bläschen darin zurückbleibt. Man kann es aber klarer machen, wenn man einen Cylinder solchen Eises zwischen Holzplatten umpresst, dann sieht man aus der Oberfläche des Cylinders die Luftbläschen als feinen Schaum entweichen. Zerbricht man die gebildete Eisscheibe wieder, bringt die Stücken in die eiserne Form, und presst sie wieder in einen Cylinder zusammen,

Digitized by Google

so kann man die Luft aus dem Eise durch solches fortgesetztes Umkneten immer mehr entfernen, und es immer klarer machen. In derselben Weise wird auch wohl in den Gletschern die weissliche Firnmasse allmälig in das klare durchsichtige Gletschereis verwandelt.

Endlich wenn man gebänderte Eiscylinder, die aus Schnee- und Eisstücken zusammengepresst sind, zu Scheiben auspresst, so werden sie fein gebändert, indem sowohl ihre klaren wie ihre weisslichen Lagen sich gleichmässig strecken.

Solch gebändertes Eis kommt in vielen Gletschern vor, und entsteht nach Tyndall wahrscheinlich dadurch, dass Schnee zwischen die Blöcke von Eiscascaden hineinfällt, dass dann diese Mischung von Schnee und klarem Eis im weiteren Verlaufe des Gletschers wieder zusammengepresst, und durch die Bewegung der Masse allmälig gestreckt wird; ein Vorgang, der dem von uns künstlich ausgeführten ganz analog ist.

Sie sehen, wie vor dem Auge des Naturforschers der Gletscher mit seinen wirr über einander gethürmten Eisblöcken, seinen öden, steinigen und schmutzigen Eisflächen, seinen Verderben drohenden Spalten zu einem majestätischen Strome geworden ist, der ruhig und regelmässig wie kein anderer dahinfliesst, der nach fest bestimmten Gesetzen sich verengt, ausbreitet, aufstaut oder brandend und zerschellend sich an Abhängen hinunterstürzt. Verfolgen wir ihn nun noch schliesslich über sein Ende hinaus, so sehen wir das durch Schmelzung erzeugte Wasser zu einem starken Bache vereinigt durch das Eisportal des Gletschers hervorbrechen und davonfliessen. Freilich sieht ein solcher Bach zunächst, wie er da unter dem Gletscher zum Vorschein kommt, schmutzig und schlammig genug aus, weil all der Steinstaub, den der Gletscher abgeschliffen hat, mit fortgeschwemmt wird. Man fühlt sich enttäuscht, wenn man das wunderbar schöne und durchsichtige Eis in so schlammiges Wasser verwandelt sieht. In der That ist das Wasser der Gletscherbäche an sich eben so schön und rein wie das Eis, wenn auch zunächst seine Schönheit verhüllt und unsichtbar ist. Man muss diese Bäche wieder aufsuchen, wenn sie durch einen See gegangen sind, und in diesem ihren Steinstaub abgesetzt haben. Der Genfer, Thuner, Vierwaldstätter, Bodensee, der Lago maggiore, der Comer- und Garda-See werden hauptsächlich durch Gletscherwasser gespeist; die Klarheit und die wunderbar schöne blaue oder blaugrüne Farbe ihres Wassers ist das Entzücken aller Reisenden.

Digitized by Google

Doch lassen wir die Schönheit und fragen wir nach dem Nutzen, so werden wir noch mehr Grund zur Bewunderung finden. Das hässliche Steinpulver, welches die Gletscherbäche fortschwemmen, giebt, wo es sich absetzt, ein für die Vegetation höchst vortheilhaftes Erdreich. Einmal ist es in mechanischer Beziehung äusserst fein zermahlen, und zweitens ist es ein vollkommen unerschöpfter und an mineralischen Pflanzennährstoffen sehr reicher jungfräulicher Boden. Die fruchtbaren Schichten feinen Lehms, welche sich durch das ganze Rheinthal bis nach Belgien hinabziehen, der sogenannte *Löss*, ist in der That alter Gletschersteinstaub.

Dann zeichnet sich auch die *Bewässerung* einer Gegend, welche durch die Schneefelder und Gletscher der Hochgebirge unterhalten wird, vor jeder anderen im Allgemeinen aus, erstens dadurch, dass sie verhältnissmässig sehr reichlich ist, weil feuchte Luft, welche über die kalten Höhen der Gebirge getrieben wird, das meiste Wasser, was sie enthält, dort als Schnee absetzt. Zweitens schmilzt der Schnee im Sommer am schnellsten, und deshalb sind die Quellen, welche von den Schneefeldern herkommen, gerade in der Jahreszeit am reichlichsten, wo man des Wassers am meisten bedarf.

So lernen wir also schliesslich die wilden todten Eiswüsten noch von einer anderen Seite kennen; aus ihnen rieselt in tausend Aederchen, Quellen und Bächen das befruchtende Nass hervor welches den fleissigen Alpenbewohnern erlaubt, saftiges Grün und Fülle der Nahrung den wilden Berggehängen abzugewinnen. Sie erzeugen auf der verhältnissmässig kleinen Oberfläche der Alpenkette die mächtigen Ströme, den *Rhein*, die *Rhone*, den *Po*, die *Etsch*, den *Inn*, welche auf Hunderte von Meilen hinaus Europa in reichen breiten Flussthälern durchziehen bis zur Nordsee, bis zum Mittelmeere, zum adriatischen und schwarzen Meere. Erinnern Sie sich, wie gross *Goethe* in *Mahomet's Gesang* den Lauf des Felsenquells von seinem Ursprung über Wolken bis zur Vereinigung mit dem Vater Ocean dargestellt hat. Es wäre vermessen nach ihm eine solche Schilderung in anderen als *seinen* Worten geben zu wollen:

> Und im rollenden Triumphe
> Giebt er Ländern Namen, Städte
> Werden unter seinem Fuss.
> Unaufhaltsam rauscht er weiter,
> Lässt der Thürme Flammengipfel,

Digitized by Google

Marmorhäuser, eine Schöpfung
Seiner Fülle, hinter sich.
Cedernhäuser trägt der Atlas
Auf den Riesenschultern; sausend
Wehen über seinem Haupte
Tausend Flaggen durch die Lüfte,
Zeugen seiner Herrlichkeit.

Und so trägt er seine Brüder,
Seine Schätze, seine Kinder
Dem erwartenden Erzeuger
Freudebrausend an das Herz.

Digitized by Google

Zusätze.

Die Theorie der Regelation des Eises hat zu wissenschaftlichen Discussionen zwischen Faraday und Tyndall auf der einen, J. und W. Thomson auf der anderen Seite Veranlassung gegeben. Ich habe im Texte der Vorlesung die Theorie der letzteren acceptirt, und muss mich deshalb hier rechtfertigen.

Die Versuche, welche Faraday angestellt hat, zeigen, dass ein äusserst geringer Druck genügt, sogar der Druck, den die Capillarität der zwischen den Eisstücken lagernden Wasserschicht hervorbringt, um dieselben aneinander frieren zu machen. Dass in den Versuchen von Faraday nicht absolut jeder Druck fehlte, der die Eisstücke aneinander heftete, hat James Thomson schon bemerkt. Aber ich habe mich durch eigene Versuche überzeugt, dass der Druck sehr gering sein kann. Nur ist zu bemerken, dass je geringer der Druck ist, desto länger auch die Zeit wird, welche die beiden Eisstücke gebrauchen, um zusammenzufrieren, und dass dann auch die Verbindungsbrücken zwischen ihnen sehr schmal sind und sehr leicht zerbrechen. Beides erklärt sich aber leicht aus der von J. Thomson gegebenen Theorie. Denn bei schwachem Drucke wird die Temperaturdifferenz zwischen Eis und Wasser sehr klein, und den mit den gepressten Theilen des Eises in Berührung stehenden Wasserschichten wird also ihre latente Wärme äusserst langsam entzogen, so dass sie nothwendig lange Zeit brauchen, um zu gefrieren. Wir werden ferner auch berücksichtigen müssen, dass wir die beiden sich berührenden Eisflächen der Regel nach nicht als absolut congruent betrachten dürfen; unter schwachem Drucke, der ihre Form nicht merklich verändern kann, werden sie sich also nur mit je drei fast punktförmigen Stellen berühren. Auf so schmale Berührungsflächen concentrirt, wird auch ein schwacher Gesammtdruck gegen die Eisstücke immerhin noch eine ziemlich grosse örtliche Pressung hervorbringen können, unter deren Einfluss etwas Eis schmilzt, und das gebildete Wasser gefriert. Aber die Verbindungsbrücke wird eben nur eine schmale werden können

Bei stärkerem Druck, der die Form der gepressten Eisstücke mehr ver-

Digitized by Google

ändern und einander anpassen kann, und auch ein stärkeres Abschmelzen der sich zuerst berührenden Vorsprünge zur Folge haben wird, werden wir grössere Temperaturdifferenzen zwischen Eis und Wasser, daher schnellere Bildung und grössere Breite der Verbindungsbrücken erhalten.

Da nun der Druck einer Atmosphäre auf ein Quadratmillimeter etwa 10 Grm. beträgt, so wird ein Eisstückchen von 10 Grm. Gewicht, welches auf einem anderen liegt, und dieses mit drei Spitzchen berührt, deren Berührungsflächen zusammengenommen ein Quadratmillimeter betragen, an diesen Spitzen schon einen Druck von einer Atmosphäre hervorbringen, und Eisbildung in dem benachbarten Wasser sogar sehr viel schneller bewirken können, als es in dem Kolben geschah, wo sich die Glaswand zwischen das Eis und Wasser einschob. Ja selbst bei viel kleinerem Gewichte des Eisstückchens wird dasselbe im Verlauf einer Stunde noch geschehen können. In dem Maasse freilich als durch das neugebildete Eis die Verbindungsstellen breiter werden, wird sich der Druck, den das obere Eisstückchen ausübt, auf grössere Flächen vertheilen müssen und schwächer werden, so dass die Verbindungsbrücken bei so schwachem Druck nur wenig und langsam zunehmen können, und daher auch leicht wieder zerbrechen werden, wenn man die Eisstücke zu trennen sucht.

Dass übrigens bei Faraday's Versuchen, wo zwei durchlöcherte Eisscheiben auf einem horizontalen Glasstabe ohne einen durch die Schwere bewirkten Druck neben einander hingen, die Capillarattraction hinreichend ist, um einen Druck der Platten gegen einander von einigen Grammen hervorzubringen, ist wohl nicht zweifelhaft, und die vorausgeschickten Erörterungen zeigen, dass ein solcher Druck hinreichen konnte, im Laufe einer genügenden Zeit Verbindungsbrücken zwischen den Platten herzustellen.

Auch wenn zwei Eisstücke auf Wasser schwimmen, und durch Capillarkraft zu einander hin gezogen werden, verbinden sie sich durch eine Eisbrücke, selbst wenn das Wasser warm genug ist, dass sie merklich abschmelzen. In dem engen Spalt ihrer Berührungsstelle und an dessen Grenzen wird dabei freilich die Temperatur nicht von Null verschieden sein. Ebenso sah Tyndall Regelation eintreten, wenn er ein kleines schwimmendes Eisstückchen mittels eines andern spitzen Stückchens im Wasser etwas niederdruckte. In allen solchen Fällen habe ich selbst die Verbindungsbrücken aber immer ausserordentlich zart gefunden.

Wenn man dagegen zwei von den oben beschriebenen Eiscylindern mit den Händen kräftig aneinander presst, so haften sie nach einigen Augenblicken so fest zusammen, dass man sie nur mit beträchtlicher Anstrengung wieder auseinander brechen kann, ja dass zuweilen die Kraft der Hände dazu nicht ausreicht.

Ich fand überhaupt bei meinen Versuchen die Stärke und Schnelligkeit der Verbindung der Eisstücke so durchaus dem angewendeten Drucke entsprechend, dass ich nicht zweifeln kann, dass der Druck wirklich die zureichende Ursache ihrer Vereinigung sei.

Faraday hat die Regelation auf eine Contactwirkung des Eises zurückzuführen gesucht. Er nimmt an, dass Wasser, was allseitig mit Eis in Berührung ist, leichter gefriert, gleichsam einen höheren Gefrierpunkt hat,

Digitized by Google

als solches, welches gar nicht oder nur einseitig mit Eis in Berührung ist. Er vergleicht die Erscheinungen am Eise mit der Ablagerung krystallisirter Massen aus Lösungen oder Dämpfen, welche immer eher an schon vorhandenen Krystallen gleicher Art, als an Glaswänden geschieht. Diese Erfahrungen zeigen in der That, dass schon gebildete Krystalle eine gewisse Anziehungskraft auf Massen gleicher Art ausüben, die zur Ausscheidung bereit sind, und dieselben bestimmen, sich der vorhandenen Structur des Krystalles homogen anzufügen.

Für das erste Zusammenhaften zweier Eisstücke bei schwachem Druck könnte in der That eine solche Erklärung zulässig erscheinen. Jedenfalls ist aber Druck, namentlich so grosser, wie in den inneren Theilen der Gletscher stattfindet, ein viel gewaltigeres Mittel zur Hervorrufung derselben Wirkungen.

Was die sogenannte Plasticität des Eises betrifft, so hat James Thomson davon eine Erklärung gegeben, bei welcher die Bildung von Sprüngen im Innern des Eises nicht vorausgesetzt ist. Auch ist es in der That unzweifelhaft, dass wenn eine Eismasse in verschiedenen Theilen ihres Innern verschieden starke Pressungen erleidet, ein Theil des stärker gepressten Eises abschmelzen muss, wozu ihm das weniger gepresste Eis und das mit diesem in Berührung stehende Wasser würde die latente Wärme liefern müssen. So würde also an den gepressten Stellen Eis wegthauen, an den nicht gepressten Wasser gefrieren, und das Eis würde auf diese Weise sich in der That allmälig umformen und dem Drucke nachgeben können. Indessen ist klar, dass bei der sehr schlechten Wärmeleitungsfähigkeit des Eises ein solcher Process ausserordentlich langsam vor sich gehen muss, wenn die gepressten und kälteren Eisschichten, wie es in den Gletschern der Fall ist, durch weite Strecken von den weniger gepressten und von dem Wasser entfernt sind, welches ihnen Wärme zum Schmelzen abgeben soll.

Um diese Theorie zu prüfen, legte ich in einem cylindrischen Glasgefässe zwischen zwei Eisscheiben von 3 Zoll Durchmesser ein kleineres cylinderförmiges Stück von etwa 1 Zoll Durchmesser, und belastete die oberste Eisscheibe mit einer Holzscheibe und diese mit einem Gewichte von 20 Pfund. Dadurch war der Querschnitt des schmalen Stücks einem Drucke von mehr als einer Atmosphäre ausgesetzt. Das ganze Gefäss wurde zwischen Eisstücke gepackt, und 5 Tage lang in ein Zimmer gestellt, dessen Temperatur wenige Grade über dem Gefrierpunkte lag. Unter diesen Umständen musste das Eis in dem Glase, welches dem Drucke des Gewichtes ausgesetzt war, schmelzen, und man konnte erwarten, dass der schmale Cylinder, auf den der Druck am stärksten wirkte, hätte am meisten schmelzen sollen. Es bildete sich auch etwas Wasser in dem Gefässe, aber hauptsächlich auf Kosten der grösseren Eisscheiben, die oben und unten lagen und zunächst von der äusseren Mischung von Eis und Wasser durch die Wände des Gefässes hindurch Wärme aufnehmen konnten. Auch bildete sich ein kleiner Wall von neuem Eise rings um die Berührungsstelle des schmaleren mit dem unteren breiteren Eisstück, welcher erkennen liess, dass das Wasser, welches sich unter dem Einfluss des Druckes gebildet hatte, da, wo der Druck aufhörte, wieder gefroren war. Doch war unter

Digitized by Google

diesen Umständen noch keine merkliche Formveränderung des mittleren am meisten gepressten Stückes eingetreten[1]).

Dieser Versuch zeigt, dass wenn auch in langer Zeit Formveränderungen der Eisstücke im Sinne von J. Thomson's Erklärung eintreten müssen, wodurch die stärker gepressten Theile fortschmelzen, und neues Eis an den von Druck freien Stellen sich bildet, diese Veränderungen doch ausserordentlich langsam von Statten gehen müssen, wo die Dicke der Eisstücke, durch welche die Wärme geleitet wird, einigermaassen erheblich ist. Eine beträchtliche Formveränderung durch Abschmelzen inmitten einer Umgebung, deren Temperatur überall 0° ist, würde eben ohne Zuleitung von Wärme von aussen oder von dem nicht gepressten Eise und Wasser her nicht geschehen können, und diese wird bei den geringen Temperaturunterschieden, die hier in Betracht kommen, und bei der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit des Eises äusserst langsam geschehen.

Dass dagegen, namentlich in körnigem Eise, die Bildung von Sprüngen und Verschiebung der Grenzflächen der Sprünge gegen einander eine Formänderung möglich macht, zeigen die oben beschriebenen Versuche über Pressung, und dass im Gletschereise in solcher Weise Formänderungen vor sich gehen, ergiebt sich deutlich aus der gebänderten Structur, aus der körnigen Aggregation, die beim Abschmelzen zu Tage kommt, der Art wie die Schichten ihre Lage bei der Bewegung verändern und so weiter. Ich zweifele deshalb nicht, dass Tyndall den wesentlichen und hauptsächlichen Grund der Bewegung der Gletscher bezeichnet hat, indem er sie auf Bildung von Sprüngen und Regelation zurückführte.

Daneben möchte ich noch daran erinnern, dass eine nicht unbeträchtliche Quantität von Reibungswärme in den grösseren Gletschern erzeugt werden muss. Die Rechnung ergiebt in der That, dass wenn eine Firnmasse vom Col du Géant bis zur Quelle des Arveyron herabrückt, ihr vierzehnter Theil geschmolzen werden kann durch die von der mechanischen Arbeit erzeugte Wärme. Da nun die Reibung an den am meisten gepressten Stellen der Eismasse am grössten sein muss, wird sie allerdings auch dazu dienen, gerade diejenigen Theile des Eises fortzunehmen, die dem Fortrücken am meisten hinderlich sind.

Schliesslich will ich noch erwähnen, dass die oben beschriebene körnige Structur des Eises sich sehr hübsch im polarisirten Lichte zeigt. Wenn man in der eisernen Form ein kleines klares Eisstück zu einer Scheibe von etwa 5 Millimeter Dicke auspresst, so ist diese durchsichtig genug, um untersucht zu werden. Man sieht dann im Polarisationsapparate in ihrem Innern eine grosse Menge verschiedenfarbiger kleiner Felder und Ringe, und erkennt durch die Anordnung der Farben leicht die Grenzen der Eiskörnchen, welche, mit mannigfach verworfener Richtung ihrer optischen Axe aneinander gelagert, die Platte zusammensetzen. Der Anblick ist im Wesentlichen derselbe, sowohl im Anfang, wenn man die Platte eben aus der Presse genommen hat und die Sprünge in ihr noch als weissliche Linien erscheinen, wie später, wenn durch beginnende Schmelzung die Spalten sich mit Wasser gefüllt haben.

---

[1]) Neuerdings sind Versuche dieser Art Herrn Dr. Fr. Pfaff gelungen (Poggendorff's Annalen der Physik. Bd. CLV, S. 169).

Digitized by Google

Um während der Umformung des Eisstücks den Fortbestand des Zusammenhangs des Eisstücks zu erklären, ist zu beachten, dass der Regel nach die Spalten in dem körnigen Eise nur Einrisse in das Stück bilden, und nicht vollständig durchgehen. Das sieht man direct beim Pressen des Eises. Die Spalten bilden sich, schiessen nach verschiedenen Seiten hin, wie Sprünge, die durch einen heissen Draht in einer Glasröhre erzeugt sind. Eine gewisse Elasticität kommt dem Eise zu, wie man an dünnen biegsamen Platten desselben sehen kann. Ein solcher eingerissener Eisblock wird also eine Verschiebung der den Spalt begrenzenden beiden Seiten erleiden können, selbst wenn diese noch durch den ungespaltenen Theil des Blocks continuirlich zusammenhängen. Wenn dann der erst gebildete Theil des Spalts durch Regelation geschlossen wird, kann schliesslich der Spalt nach der andern Seite hin ganz durchreissen, ohne dass zu irgend einer Zeit der Zusammenhang des Blocks vollständig aufgehoben wäre. So erscheint es mir auch zweifelhaft, ob bei dem scheinbar aus verschränkten polyëdrischen Körnern bestehendem gepressten Eise und Gletschereise die Körner, schon ehe man sie zu trennen sucht, vollständig von einander gelöst, und nicht vielmehr durch Eisbrücken, welche leicht zerbrechen, mit einander verbunden sind, und ob nicht letztere den verhältnissmässig festen Zusammenhang des scheinbaren Haufwerks von Körnchen vermitteln.

Diese hier beschriebenen Eigenschaften des Eises sind auch in physikalischer Beziehung von Interesse, weil sich hier der Uebergang eines krystallinischen Körpers in einen körnigen so genau verfolgen, und die Ursachen, von denen die damit verbundene Veränderung seiner Eigenschaften abhängt, wie es scheint, besser erkennen lassen, als bei irgend einem andern bekannten Beispiel. Die meisten Naturkörper zeigen kein regelmässiges krystallinisches Gefüge, unsere theoretischen Vorstellungen passen aber fast allein auf krystallinische und vollkommen elastische Körper. Gerade in dieser Beziehung scheint mir der Uebergang des brüchigen und elastischen krystallinischen Eises in das plastische körnige Eis ein sehr belehrendes Beispiel zu sein.

Digitized by Google

DIE NEUEREN FORTSCHRITTE

IN DER

THEORIE DES SEHENS.

Vorlesungen,

gehalten

in Frankfurt a. M. und Heidelberg,

ausgearbeitet

für die

Preussischen Jahrbücher. Jahrgang 1868.

Digitized by Google

I.

Der optische Apparat des Auges.

Die Physiologie der Sinne bildet ein Grenzgebiet, wo die beiden grossen Abtheilungen menschlichen Wissens, welche man unter dem Namen der Natur- und Geisteswissenschaften zu scheiden pflegt, wechselseitig in einander greifen, wo sich Probleme aufdrängen, welche beide gleich sehr interessiren, und welche auch nur durch die gemeinsame Arbeit beider zu lösen sind. Zunächst hat es die Physiologie freilich nur mit körperlichen Veränderungen in körperlichen Organen zu thun, die Physiologie der Sinne also zunächst mit den Nerven und mit ihren Empfindungen, sofern diese Erregungszustände der Nerven sind. Aber die Wissenschaft kann doch nicht umhin, wenn sie die Thätigkeiten der Sinneswerkzeuge untersucht, auch von den Wahrnehmungen äusserer Objecte zu reden, welche vermittels dieser Erregungen in den Nerven zu Stande kommen, schon deshalb nicht, weil die Existenz einer Wahrnehmung uns oft eine Nervenerregung oder eine Modification einer solchen verräth, die wir sonst nicht entdeckt haben würden. Wahrnehmungen äusserer Objecte sind aber jedenfalls Acte unseres Vorstellungsvermögens, die von Bewusstsein begleitet sind; es sind psychische Thätigkeiten. Ja die genauere Untersuchung der genannten Vorgänge hat in dem Maasse, als sie tiefer eindrang, ein immer breiter werdendes Gebiet solcher psychischen Vorgänge kennen gelehrt, deren Resultate schon in der scheinbar unmittelbarsten sinnlichen Wahrnehmung verborgen liegen, und die bisher

Digitized by Google

noch wenig zur Sprache gekommen sind, weil man sich gewöhnt hatte, die fertige Wahrnehmung eines vorliegenden äusseren Dinges als ein durch den Sinn unmittelbar gegebenes und weiter nicht zu analysirendes Ganze zu betrachten.

Ich brauche hier kaum an die fundamentale Wichtigkeit zu erinnern, welche gerade dieses Gebiet der Forschung für fast alle anderen Zweige der Wissenschaft hat. Sinnliche Wahrnehmung liefert ja am Ende unmittelbar oder mittelbar den Stoff zu allem menschlichen Wissen, oder doch wenigstens die Veranlassung zur Entfaltung jeder eingeborenen Fähigkeit des menschlichen Geistes. Sie liefert die Grundlage für alle Thätigkeit des Menschen gegen die Aussenwelt hin, und wenn man also auch die hier zur Erscheinung kommenden psychischen Thätigkeiten als die einfachsten und niedrigsten ihrer Art betrachten mag, so sind sie darum nicht minder wichtig und interessant. Auch ist wenig Aussicht, dass zum Ziele der Erkenntniss kommen wird, wer nicht mit dem Anfang anfängt.

Es liegt hier der erste Fall vor, dass die auf naturwissenschaftlichem Boden gross gezogene Kunst des Experimentirens in das ihr bisher so unzugängliche Gebiet der Seelenthätigkeiten eingreifen konnte; freilich zunächst nur, insofern wir durch den Versuch die Art der sinnlichen Eindrücke festzustellen vermögen, welche bald dieses, bald jenes Anschauungsbild vor unser Bewusstsein rufen. Aber auch daraus schon fliessen mannigfaltige Folgerungen über das Wesen der mitwirkenden psychischen Vorgänge; und so will ich denn versuchen, in diesem Sinne hier über die Ergebnisse der genannten physiologischen Untersuchungen Bericht zu erstatten.

Eine speciellere Veranlassung liegt für mich in dem Umstande, dass ich erst kürzlich mit einer vollständigen Durcharbeitung des ganzen Gebietes der physiologischen Optik [1]) fertig geworden bin, und gern die mir gebotene Gelegenheit benutze, das, was sich in einem wesentlich naturwissenschaftlichen Zwecken gewidmeten Buche von hierher gehörigen Anschauungen und Folgerungen zwischen zahllosen Einzelheiten vielleicht verstecken oder verlieren möchte, in übersichtlicherem Abriss zusammenzustellen. Ich bemerke noch, dass ich bei jener Arbeit namentlich bemüht gewesen bin, mich von jeder nur einigermaassen wichtigen Thatsache durch

[1]) Handbuch der Physiologischen Optik von H. Helmholtz, neunter Band von G. Karsten's allgemeiner Encyclopädie der Physik. Leipzig 1867.

Digitized by Google

eigene Erfahrung und eigenen Versuch zu überzeugen. Auch ist nicht eben mehr erheblicher Streit über wesentlichere Punkte der Beobachtungsthatsachen, höchstens noch über die Breite gewisser individueller Unterschiede bei einzelnen Classen von Wahrnehmungen. Gerade in den letzten Jahren hat unter dem Einflusse des grossen Aufschwungs der Augenheilkunde eine namhafte Anzahl bedeutender Forscher über die Physiologie des Gesichtsinnes gearbeitet, und in dem Maasse als die Menge der beobachteten Thatsachen gewachsen ist, sind sie auch wissenschaftlicher Ordnung und Klärung zugänglicher geworden. Sachverständige Leser werden übrigens wissen, wie viel Arbeit aufgewendet werden musste, um manche verhältnissmässig einfach und fast selbstverständlich erscheinende Thatsachen dieses Gebietes festzustellen.

Um die späteren Folgerungen in ihrem ganzen Zusammenhange verständlich zu machen, werden wir zunächst die physikalischen Leistungen des Auges als eines optischen Instrumentes kurz zu charakterisiren haben, dann die physiologischen Vorgänge der Erregung und Leitung in den dem Auge zugehörigen Theilen des Nervensystems besprechen, und zuletzt uns der psychologischen Frage zuwenden, wie nämlich aus den Nervenerregungen Wahrnehmungen entspringen. Der erste physikalische Theil der Untersuchung, den wir hier zunächst nicht übergehen können, weil er die wesentliche Grundlage des Folgenden bildet, wird freilich mancherlei schon in weiten Kreisen Bekanntes wiederholen müssen, um das Neue einordnen zu können. Uebrigens nimmt gerade dieser Theil der Untersuchung ein erhöhetes Interesse anderer Art vorzugsweise in Anspruch, weil er nämlich die wesentliche Basis für die ausserordentliche Entwickelung geworden ist, welche die Augenheilkunde in den letzten zwanzig Jahren genommen hat, eine Entwickelung, die durch ihre Schnelligkeit und die Art ihres wissenschaftlichen Charakters vielleicht ohne Beispiel in der Geschichte der Medicin dasteht. Nicht nur der Menschenfreund darf sich dieser Errungenschaften freuen, durch die so viel Elend, dem eine ältere Zeit machtlos gegenüberstand, verhütet oder beseitigt wird; auch der Freund der Wissenschaft hat ganz besonderen Grund, mit stolzer Freude darauf hinzublicken. Denn es ist nicht zu verkennen, dass dieser Fortschritt nicht durch suchendes Herumtappen und glückliches Finden, sondern durch streng folgerichtigen Gang, der die Bürgschaft weiterer Erfolge in sich trägt, errungen worden ist. Wie einst die Astronomie ein Vorbild war, an dem die physikalischen Wissenschaften die Zuversicht auf

Digitized by Google

den Erfolg der rechten Methode kennen lernen konnten, so zeigt die Augenheilkunde jetzt in augenfälligster Weise, was auch in der praktischen Heilkunde durch ausgedehnte Anwendung wohlverstandener Untersuchungsmethoden und durch die richtige Einsicht in den ursächlichen Zusammenhang der Erscheinungen geleistet werden kann. Es ist nicht zu verwundern, wenn ein Kampfplatz, der wissenschaftlichem Sinne und arbeitsfreudiger Geisteskraft neue und schöne Siege über die widerstrebenden Kräfte der Natur in Aussicht stellte, auch die geeigneten Köpfe an sich zog; darin, dass deren so viele da waren und kamen, ist wesentlich der Grund für die überraschende Schnelligkeit dieser Entwickelung zu suchen. Es sei mir vergönnt, aus ihrer Zahl für drei verwandte Volksstämme je einen Repräsentanten zu nennen, nämlich Albrecht v. Graefe, Donders in Utrecht, Bowman in London.

Auch noch eine andere Freude mag der Freund ernsten Forschens dieser Entwickelung gegenüber empfinden, indem er an Schiller's tiefsinniges Wort von der Wissenschaft denkt:

Wer um die Göttin freit, suche in ihr nicht das Weib.

Es liesse sich nämlich leicht an der Geschichte auch dieses Gegenstandes erweisen und wird sich im Folgenden theilweise zeigen, dass die wichtigsten praktischen Erfolge ungeahnt aus Untersuchungen hervorgewachsen sind, die dem Unkundigen als unnützeste Kleinkrämereien erscheinen mochten, während der Kundige darin zwar ein bisher verborgenes Verhältniss von Ursache und Wirkung sich offenbaren sah, aber diesem zunächst doch nur in rein theoretischem Interesse nachspüren konnte.

I.

Unter allen Sinnen des Menschen ist das Auge immer als das liebste Geschenk und als das wunderbarste Erzeugniss der bildenden Naturkraft betrachtet worden. Dichter haben es besungen, Redner gefeiert; Philosophen haben es als Maassstab für die Leistungsfähigkeit organischer Kraft gepriesen, und Physiker haben es als das unübertrefflichste Vorbild optischer Apparate nachzuahmen gesucht. Die enthusiastische Bewunderung dieses Organs ist in der That wohl zu begreifen, wenn man an seine Leistungen denkt; an seine raumdurchdringende Kraft, an die Schnelligkeit, mit der es die Fülle seiner farbenprächtigen Bilder wechseln lässt, und an den Reichthum von Anschauungen, die es uns zuführt. Das unermessliche All und seine zahllosen leuchtenden Welten kennen

Digitized by Google

wir nur durch das Auge; nur das Auge macht uns die Fernen der irdischen Landschaft mit ihrer duftigen Abstufung sonnigen Lichtes, macht uns den Formen- und Farbenreichthum der Pflanzen, das anmuthige oder kräftige Bewegungsleben der Thiere zugänglich.

Als der härteste Verlust nächst dem des Lebens erscheint uns der Verlust des Augenlichts.

Aber noch viel wichtiger als die Freude an der Schönheit und die Bewunderung der Erhabenheit, welche uns das Auge anschauen lässt, ist für uns in jedem Augenblicke unseres Lebens denn doch die Sicherheit und Genauigkeit, womit wir die Lage, Entfernung, Grösse der uns umgebenden Gegenstände durch das Gesicht beurtheilen. Denn diese Kenntniss ist die wesentlich nothwendige Grundlage für alle unsere Handlungen, mögen wir nun eine feine Nadel durch ein verschlungenes Gewirre von Fäden hinführen wollen oder einen Sprung von Fels zu Fels machen, wo von der richtigen Abmessung der Entfernung, zu der wir springen müssen, vielleicht unser Leben abhängt. Durch den Erfolg unserer Bewegungen und Handlungen, die ja auf die mittels des Sehens erlangten Anschauungsbilder der Aussenwelt wesentlich gegründet sind, prüfen wir auch wiederum fort und fort die Richtigkeit und Genauigkeit dieser Anschauungen selbst. Wenn uns das Gesicht über die Lage und Entfernung der gesehenen Gegenstände täuschen sollte, so würde sich das sogleich zeigen, wenn wir das am falschen Orte Gesehene ergreifen oder darauf zueilen wollten. Eben diese unablässige Prüfung der Genauigkeit der Gesichtsbilder durch unsere Handlungen ist es nun auch, was uns die felsenfeste Ueberzeugung von ihrer unmittelbaren und vollkommenen Wahrheit und Treue verschafft, eine Ueberzeugung, welche durch keine noch so wohlbegründet erscheinenden Einwürfe der Philosophie oder Physiologie erschüttert wird.

Dürfen wir uns wundern, wenn diesen Erfahrungen gegenüber sich die Meinung feststellte, das Auge sei ein optisches Werkzeug von einer Vollkommenheit, der kein aus Menschenhänden hervorgegangenes Instrument jemals gleichkommen könne? wenn man durch die Präcision und die Complicirtheit seines Baues die Genauigkeit und die Mannigfaltigkeit seiner Leistungen erklären zu können glaubte?

Die wirkliche Untersuchung der optischen Leistungen des Auges, wie sie in den letzten Jahrzehnten betrieben worden ist, hat nun in dieser Beziehung eine sonderbare Enttäuschung herbeigeführt, eine Enttäuschung, wie sie durch die Kritik der That-

Digitized by Google

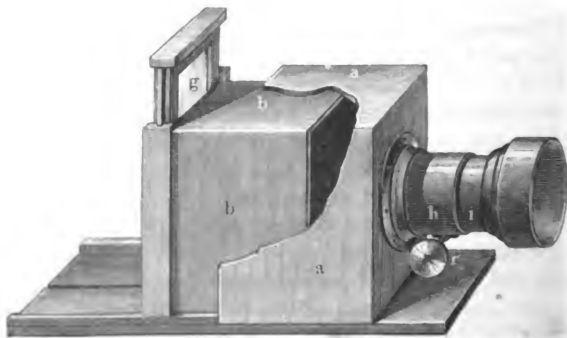
sachen ja auch manchem anderen enthusiastischen Wunderglauben schon bereitet worden ist. Und wie eben auch in solchen anderen Fällen, wo wirklich grosse Leistungen vorliegen, die rechte Bewunderung eher wächst, wenn sie verständiger wird und ihre Ziele richtiger erkennt, so mag es uns vielleicht auch hier ergehen. Denn die grossen Leistungen des kleinen Organs können ja niemals hinweggeleugnet werden; und was wir auf einer Seite unserer Bewunderung etwa abzuziehen uns genöthigt sehen sollten, werden wir ihr an einer anderen Stelle wohl wieder zusetzen müssen.

Uebrigens mag es sein, wie es will, so bleibt doch jedes Werk organisch bildender Naturkraft für uns unnachahmlich; und wenn jene Kraft hier ein optisches Instrument bildete, so ist das natürlich kein geringeres Wunder, als jedes andere ihrer Werke, selbst wenn sich zeigen sollte, dass menschliche Kunst optische Instrumente herstellen kann, die, als solche, allerdings einen höheren Grad von Vollendung erreicht haben, als das Auge.

Als optisches Instrument betrachtet ist das Auge eine Camera obscura. Jedermann kennt jetzt diese Art von Apparaten, wie sie die Photographen anwenden, um Portraits oder Landschaften aufzunehmen.

Ein solcher ist in Fig. 41 dargestellt. Ein innen geschwärzter, aus zwei in einander verschiebbaren Theilen *a* und *b* zusammen-

Fig. 41.



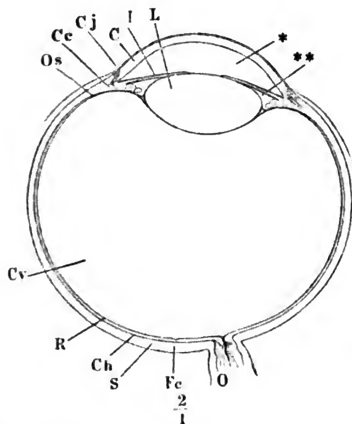
gesetzter Kasten enthält an seiner Vorderseite in der Röhre *h i* Glaslinsen, die das einfallende Licht brechen und es im Hinter-

Digitized by Google

grunde des Kastens zu einem optischen Bilde der vor dem Instrumente befindlichen Gegenstände vereinigen. Zuerst wenn der Photograph sein Instrument richtet und einstellt, fängt er das optische Bild mit einer matten Glastafel *g* auf. Es wird auf dieser sichtbar als ein sehr fein und sauber, in natürlicher Färbung gezeichnetes Bild, zierlicher und schärfer, als es der geschickteste Künstler nachahmen könnte, aber freilich auf den Kopf gestellt. Nachher wird an die Stelle jener Glastafel zum Auffangen des Bildes die präparirte lichtempfindliche Platte eingeschoben, auf der das Licht dauernde chemische Veränderungen hervorbringt, stärkere an den hell beleuchteten Stellen, schwächere an den dunkleren. Diese chemischen Veränderungen, einmal erfolgt, bleiben dann bestehen; durch sie wird das Bild auf der Platte fixirt.

Die natürliche Camera obscura unseres Auges, von dem Fig. 42 einen schematischen Durchschnitt zeigt, hat ebenso ihren innen geschwärzten Kasten; freilich ist er nicht eckig, sondern kugelförmig; nicht aus Holz verfertigt, sondern aus einer straffen dicken weissen Sehnenhaut *S* gebildet, deren vordere Theile als das Weisse des Auges zwischen den Augenlidern sichtbar werden. Innen ist diese äussere feste Hülle des Augapfels geschwärzt, indem sie mit der feinen, fast ganz aus verschlungenen rothen Blutgefässen gebildeten und mit schwarzem Pigment dicht bedeckten Aderhaut *Ch*, Fig. 42, austapeziert ist. Abweichend ferner ist es, dass der Augapfel nicht leer, sondern mit durchsichtiger wasserheller Flüssigkeit gefüllt ist. Statt der Glaslinsen der Camera obscura finden wir vorn am Auge die von durchsichtiger Knorpelmasse gebildete kugelig hervorgewölbte Hornhaut *C* in die weisse Sehnenhaut eingesetzt. Ihre Stellung und Krümmung sind unveränderlich, weil sie mit zur festen äusseren Wand des Augapfels gehört. Die Glaslinsen des Photographen sind dagegen nicht unver-

Fig. 42.



Digitized by Google

änderlich festgestellt; sie stecken vielmehr in einer verschiebbaren Röhre, und der Photograph bewegt diese mittels einer Schraube *r*, Fig. 41, um sie der Entfernung der abzubildenden Gegenstände anzupassen und von diesen ein deutliches Bild zu erhalten. Je näher das Object, desto weiter muss er die Linse hervorschieben, je ferner es ist, desto weiter stellt er sie zurück. Nun fällt auch dem Auge die Aufgabe zu, bald ferne bald nahe Gegenstände auf seiner Hinterwand deutlich abzubilden. Dazu ist auch im optischen Apparate des Auges ein veränderlicher Theil nöthig. Dies ist die Krystalllinse *L*, Fig. 42, die im Inneren nahe hinter der Hornhaut, aber fast ganz verdeckt von der braunen oder blauen Iris *J* liegt. In der Mitte, wo die Iris eine runde Oeffnung, die Pupille, hat, liegt die Krystalllinse frei, den Rändern der Pupille dicht an; aber sie ist so durchsichtig, dass man bei gewöhnlicher Beleuchtung nichts von ihr erkennt, sondern nur die dem dunklen Hintergrund des Augapfels eigenthümliche Schwärze wahrnimmt. Die Krystalllinse ist ein weich elastischer, linsenförmiger, äusserst durchsichtiger Körper mit einer vorderen und hinteren gewölbten Fläche. Sie ist durch ein sie ringförmig umgebendes, einer Halskrause ähnlich in strahlenförmige Falten gelegtes Befestigungsband, das Strahlenblättchen (Zonula Zinnii) bei **, Fig. 42, ringsum befestigt, und die Spannung dieses Bandes kann durch einen im Auge gelegenen, ringsum am Rande der Hornhaut entspringenden Muskel, den Ciliarmuskel *Cc*, verringert werden. Dann wölben sich die Flächen der Linse, namentlich die vordere, beträchtlicher vor, als sie es im Ruhezustande des Auges thun, die Brechung der Lichtstrahlen in der Linse wird stärker, und das Auge wird dadurch geeignet, Bilder von näheren Gegenständen auf der Fläche seines Hintergrundes zu entwerfen.

Das ruhende normalsichtige Auge sieht ferne Gegenstände deutlich; durch Spannung des Ciliarmuskels wird es für nahe Gegenstände eingerichtet oder accommodirt. Der Mechanismus der Accommodation, den ich eben kurz aus einander gesetzt habe, war seit Kepler eines der grössten Räthsel der Ophthalmologie gewesen und gleichzeitig wegen der sehr häufigen Unvollkommenheiten der Accommodation eine Frage von grösster praktischer Wichtigkeit. Ueber keinen Gegenstand der Optik sind jemals so viele widersprechende Theorien gebaut worden, als über diesen. Die Lösung des Räthsels wurde angebahnt, als der englische Augenarzt Sanson, der sich dabei das Verdienst eines ungewöhnlich aufmerksamen Beobachters erwarb, ganz schwache Lichtreflexe

Digitized by Google

innerhalb der Pupille bemerkte, welche an den beiden Flächen der Krystalllinse zu Stande kommen. Es war dies eines der unscheinbarsten Phänomene, nur bei starker Beleuchtung von der Seite her in übrigens ganz dunklem Raume, nur bei einer bestimmten Stellung des Beobachters und auch dann nur, wie ein schwacher nebeliger Schein zu sehen. Aber dieser schwache Schein war dazu bestimmt, ein grosses Licht in einem dunklen Gebiete der Wissenschaft zu werden. Es war nämlich das erste am lebenden Auge sinnlich wahrnehmbare Zeichen, was von der Krystalllinse herrührte. Sanson benutzte sogleich diese Reflexbildchen, um objectiv constatiren zu können, ob in einem kranken Auge die Linse sich an ihrer Stelle befinde. Max Langenbeck bemerkte zuerst Veränderungen dieser Reflexe bei der Accommodation. Diese wurden von Cramer in Utrecht, und unabhängig davon auch vom Referenten zu einer genauen Feststellung aller Veränderungen benutzt, welche die Linse bei der Accommodation erleidet. Es gelang mir, das Princip des Heliometers, welches die Astronomen anwenden, um an dem ewig beweglichen Himmelsgewölbe sehr kleine Sternabstände trotz ihrer scheinbaren Bewegung so genau zu messen, dass sie dadurch die Tiefen des Fixsternhimmels sondiren konnten, in veränderter Form der Anwendung auch auf das bewegliche Auge zu übertragen. Ein zu diesem Zwecke construirtes Messinstrument, das Ophthalmometer, erlaubt am lebenden Auge die Krümmung der Hornhaut, der beiden Linsenflächen, die Abstände dieser Flächen von einander u. s. w. mit grösserer Schärfe zu messen, als man es bisher selbst am todten Auge thun konnte, und dadurch die ganze Breite der Veränderungen des optischen Apparates, soweit sie auf die Accommodation Einfluss haben, festzustellen.

So war physiologisch die Aufgabe gelöst. Daran schlossen sich nun weiter die Untersuchungen der Augenärzte, namentlich von Donders über die individuellen Fehler der Accommodation, die man im gewöhnlichen Leben unter dem Namen der Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit zu umfassen pflegt. Zuverlässige Methoden mussten ausgebildet werden, um auch bei ungeübten und ununterrichteten Kranken die Grenzen des Accommodationsvermögens genau bestimmen zu können. Es zeigte sich, dass sehr verschiedenartige Zustände unter dem Namen der Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit zusammen geworfen waren, welche die Wahl passender Brillen bis dahin unsicher gemacht hatten; dass sehr hartnäckige und dunkle, scheinbar nervöse Leiden einfach auf ge-

Digitized by Google

wissen Fehlern des Accommodationsapparates beruhen und durch eine richtig gewählte Brille schnell beseitigt werden können. Auch hat Donders nachgewiesen, dass Fehler der Accommodation die gewöhnlichste Veranlassung zur Entstehung des Schielens sind, während A. v. Graefe schon früher gezeigt hatte, dass vernachlässigte und allmählig gesteigerte Kurzsichtigkeit Veranlassung zu den gefährlichsten Dehnungen, Erkrankungen und Verbildungen des Augenhintergrundes wird.

So haben sich die unerwartetsten Verknüpfungen ursächlichen Zusammenhanges nach allen Richtungen hin erschlossen, und sind ebenso fruchtbringend für die Kranken, wie interessant für den Physiologen geworden.

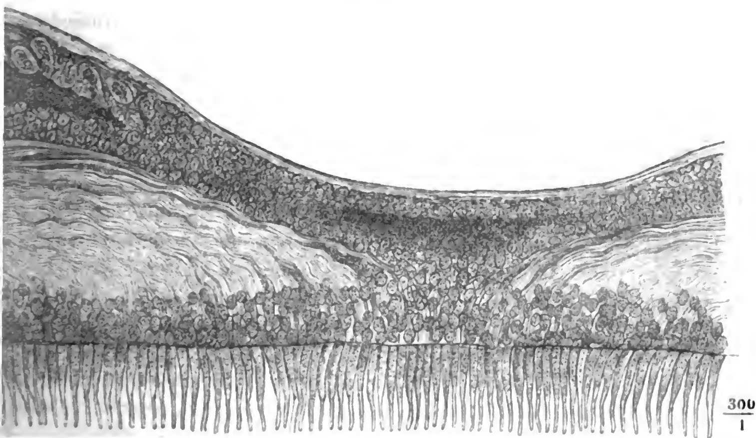
Jetzt bleibt uns noch übrig, von dem Schirme zu handeln, welcher das im Auge entworfene optische Bild auffängt. Es ist dies die dünne membranartige Ausbreitung des Sehnerven, die Netzhaut, welche die innerste Lage der den Augapfel auskleidenden Häute bildet. Der Sehnerv *O*, Fig. 42, ist ein cylindrischer Strang, der sehr feine Nervenfasern, zusammengefasst und geschützt durch eine starke sehnige Scheide, dem Augapfel zuführt und an der Hinterwand desselben, etwas nach der Nasenseite herüber, in ihn eintritt. Die Fasern des Sehnerven strahlen dann von ihrer Eintrittsstelle nach allen Richtungen über die vordere Fläche der Netzhaut aus. Sie sind, wo sie enden, mit eigenthümlichen Endgebilden verbunden, zunächst mit Zellen und Kernen, wie sie auch in der grauen Nervensubstanz des Gehirns vorkommen; schliesslich aber findet sich an der hinteren Seite der Netzhaut, die Enden der Nervenleitung ausmachend, ein regelmässiges Mosaik aus feineren cylindrischen Stäbchen und etwas dickeren flaschenförmigen Gebilden, den Zapfen der Netzhaut *b* Fig. 43 gebildet, alle dicht aneinander gedrängt, senkrecht zur Fläche der Netzhaut stehend, und jedes mit einer Nervenfaser verbunden, die Stäbchen mit Fasern allerfeinster Art, die Zapfen mit etwas dickeren. Dieses Mosaik der Stäbchen und Zapfen ist, wie sich durch bestimmte Versuche zeigen lässt, die eigentlich lichtempfindliche Schicht der Netzhaut, das heisst diejenige, in welcher allein die Lichteinwirkung eine Nervenerregung hervorzubringen im Stande ist.

Die Netzhaut hat eine ausgezeichnete Stelle, die nicht ganz in ihrer Mitte, sondern etwas nach der Schläfenseite hinüber liegt, und welche wegen ihrer Farbe der gelbe Fleck genannt wird. Diese Stelle ist etwas verdickt. In ihrer Mitte aber befindet sich ein Grübchen, die Netzhautgrube, wo die Membran sehr dünn

Digitized by Google

ist, weil ihre Zusammensetzung hier auf diejenigen Elemente reducirt ist, die zum genauen Sehen unbedingt nothwendig sind. Fig. 43 stellt nach Henle einen Querschnitt dieser Stelle von einem in Alkohol erhärteten Präparate in 300maliger Vergrösserung dar.

Fig. 43.



Lh ist die die Netzhaut gegen den Glaskörper hin begrenzende elastische Membran. Bei *b* sieht man dagegen die Zapfen, welche hier feiner sind ($^1/_{400}$ Millimeter im Durchmesser), als in den übrigen Theilen der Netzhaut, und ein dichtes regelmässiges Mosaik bilden. Die übrigen mehr oder weniger trüben Elemente der Netzhaut sind zur Seite geschoben, mit Ausnahme der zu den Zapfen gehörigen Körner *g*. Man sieht bei *f* die Faserzüge, welche zur Verbindung dieser Körner mit den anderen mehr nach vorn liegenden nervösen Gebilden dienen. Von letzteren sieht man bei *n* die Schicht der Nervenfasern des Sehnerven, bei *gli* und *gle* zwei Schichten von Nervenzellen, zwischen ihnen bei *gri* eine fein granulirte Schicht. Alle diese letzteren sind in der Mitte der Netzhautgrube durchbrochen und in der Figur nur die letzten verdünnten Ausläufer dieser Schichten sichtbar. Auch die Gefässe der Netzhaut treten nicht in die Netzhautgrube ein, sondern enden in ihrer nächsten Umgebung mit einem zarten Kranze feinster Capillarschlingen.

Digitized by Google

Die Netzhautgrube ist für das Sehen von grosser Wichtigkeit, weil sie die Stelle feinster Raumunterscheidung ist. Die Zapfen als letzte lichtempfindliche Elemente sind hier am engsten zusammengedrängt, und von allen vorliegenden halbdurchsichtigen Theilen befreit. Wir dürfen annehmen, dass von jedem dieser Zapfen eine Nervenfaser durch den Sehnervenstamm isolirt nach dem Gehirn geht, um den empfangenen Eindruck dort hinzuleiten, und dass somit der Erregungszustand jedes einzelnen Zapfens auch isolirt von den übrigen zur Empfindung kommen kann.

Die Entwerfung der optischen Bilder in einer Camera obscura beruht bekanntlich darauf, dass Lichtstrahlen, die von einem leuchtenden Punkte, dem Objectpunkte, ausgegangen sind, durch die Glaslinsen so gebrochen und von ihrer früheren Richtung abgelenkt werden, dass sie sich hinter den Linsen alle wieder in einem Punkte vereinigen, im Bildpunkte. Dasselbe bewirkt bekanntlich jede Brennlinse. Lassen wir Sonnenstrahlen durch eine solche gehen, und halten in passender Entfernung dahinter ein weisses Papier, so ist Zweierlei zu bemerken. Erstens nämlich, was gewöhnlich nicht beachtet wird, dass die Brennlinse einen Schatten wirft wie ein undurchsichtiger Körper, während sie doch aus durchsichtigem Glase besteht, und zweitens, dass in der Mitte dieses Schattens eine blendend hell beleuchtete Stelle erscheint, das Sonnenbildchen. Das Licht, welches, wenn die Linse nicht dagewesen wäre, die ganze Fläche beleuchtet haben würde, auf welche ihr Schatten fällt, wird durch die Brechung in dem Glase auf die kleine leuchtende Stelle des Sonnenbildchens vereinigt, daher hier auch Licht und Wärme viel intensiver sind, als in den ungebrochenen Strahlen der Sonne. Wählen wir statt der Sonnenscheibe eine punktförmige Lichtquelle, wie zum Beispiel den Sirius, so wird auch das Licht im Focus der Linse in einen Punkt vereinigt. Hier beleuchtet es den Papierschirm, und so erscheint ein beleuchteter Punkt des Papierschirms als Bild des Sterns. Steht ein anderer Fixstern in der Nähe, so wird dessen Licht gesammelt auf einem zweiten Punkte des Papierschirms, den es beleuchtet, und dieser zweite Punkt erscheint dem entsprechend als Bild des zweiten Sterns. Ist dessen Licht etwa roth, so erscheint natürlich auch der von ihm erhellte Punkt roth. Sind mehr Sterne in der Nähe, so hat jeder sein Bild an einer anderen Stelle des Papiers, und jedes Bild hat die Farbe des Lichtes, welches der Stern aussendet. Haben wir endlich statt getrennter leuchtender Punkte, wie sie die Sterne darbieten, eine continuirliche Reihenfolge von

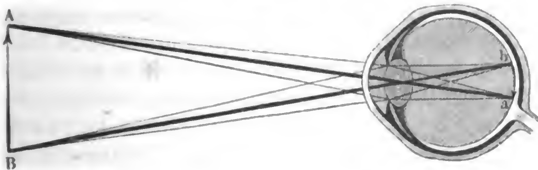
Digitized by Google

leuchtenden Punkten einer leuchtenden Linie oder Fläche, so entspricht dieser auch eine continuirliche Reihenfolge von entsprechend beleuchteten Bildpunkten auf dem Papier; aber auch hier wird, vorausgesetzt, dass der Papierschirm an die richtige Stelle gebracht wird, alles Licht, was von einem einzelnen Objectpunkte ausgeht, auf nur einen Punkt des Schirmes concentrirt, beleuchtet diesen mit derjenigen Lichtstärke und Farbe, die ihm eben angehört, während derselbe Punkt des Papiers kein Licht von irgend einem anderen leuchtenden Punkte des Objects erhält.

Setzen wir an Stelle des bisher angenommenen Papierschirms eine präparirte photographische Platte, so wird jeder Punkt derselben von dem ihn treffenden Lichte verändert. Dieses Licht ist aber alles Licht und nur das Licht, was von dem entsprechenden Objectpunkte in das Instrument fällt, und entspricht in seiner Helligkeit der Helligkeit des betreffenden Objectpunktes. So entspricht denn auf der lichtempfindlichen Platte die Intensität der Veränderung, welche sie erleidet, an jeder Stelle der (chemischen) Intensität des Lichtes, welches der betreffende Objectpunkt ausgesendet hat.

Was im Auge geschieht, ist genau dasselbe; nur dass an die Stelle der Glaslinsen Hornhaut und Krystalllinse, an Stelle des Papierschirms oder der photographischen Platte die Netzhaut tritt. Ist also ein genaues optisches Bild auf der Netzhaut entworfen, so wird jeder Zapfen der Netzhaut nur von dem Lichte getroffen, welches ein entsprechend kleines Flächenelement des Gesichtsfeldes aussendet; die aus dem Zapfen entspringende Nervenfaser wird also nur von dem Lichte dieses einen entsprechenden Flächenelements in Erregung versetzt, und empfindet nur dieses, während

Fig. 44.



durch das Licht benachbarter Punkte des Gesichtsfeldes andere Nervenfasern erregt werden. Fig. 44 erläutert dieses Verhältniss; die Strahlen, welche von dem Objectpunkte *A* ausgehen,

Digitized by Google

werden so gebrochen, dass sie sich alle in *a* auf der Netzhaut vereinigen, während die vom Objectpunkte *B* ausgehenden sich in *b* sammeln.

Auf diese Weise geschieht es also, dass das Licht jedes einzelnen hellen Punktes des Gesichtsfeldes für sich eine besondere Empfindung erregt, dass die gleiche oder verschiedene Helligkeit verschiedener Punkte des Gesichtsfeldes in der Empfindung unterschieden und aus einander gehalten werden kann, und dass diese verschiedenen Eindrücke alle gesondert zum Bewusstsein gelangen können.

Vergleichen wir nun das Auge mit künstlichen optischen Instrumenten, so fällt uns zunächst als ein Vorzug das sehr grosse Gesichtsfeld desselben auf, welches für jedes einzelne Auge fast zwei rechte Winkel von rechts nach links umfasst (160° von rechts nach links, 120° von oben nach unten), und für beide zusammengenommen sogar noch etwas mehr als zwei rechte Winkel in horizontaler Ausdehnung. Das Gesichtsfeld unserer künstlichen Instrumente ist meist sehr klein, um so kleiner, je stärker die Vergrösserung des Bildes. Aber freilich ist auch zu bemerken, dass wir von unseren künstlichen Instrumenten vollkommene Schärfe des Bildes in seiner ganzen Ausdehnung zu verlangen pflegen, während das Netzhautbild nur in sehr kleiner Ausdehnung, nämlich der des gelben Flecks, eine grosse Schärfe zu haben braucht. Der Durchmesser der Netzhautgrube entspricht im Gesichtsfelde etwa einem Winkelgrade, das heisst, einer Ausdehnung, wie sie von dem Nagel unseres Zeigefingers bedeckt erscheint, wenn wir die Hand möglichst weit von uns entfernen. In diesem kleinen Abschnitte des Gesichtsfeldes ist die Genauigkeit des Sehens so gross, dass Abstände zweier Punkte von einer Winkelminute, entsprechend dem sechzigsten Theile der Breite des Zeigefingernagels in der angegebenen Haltung, noch unterschieden werden können. Diese Distanz entspricht der Breite eines Zapfens der Netzhaut. Alle übrigen Theile des Netzhautbildes werden ungenauer gesehen, um so mehr, je weiter sie nach den Grenzen der Netzhaut hinfallen. So gleicht das Gesichtsbild, welches wir durch ein Auge erhalten, einer Zeichnung, in welcher ein mittlerer Theil sehr fein und sauber ausgeführt, die Umgebung aber nur grob skizzirt ist. Wenn wir aber auch in jedem einzelnen Augenblick nur einen sehr kleinen Theil des Gesichtsfeldes genau sehen, so sehen wir ihn doch gleichzeitig im Zusammenhang mit seiner Umgebung, und wir sehen von letzterer hin-

Digitized by Google

reichend viel, um auf jeden auffallenden Gegenstand, namentlich aber auf jede Veränderung in diesem Umkreise sogleich aufmerksam werden zu können, was Alles in einem Fernrohr nicht der Fall ist. Sind aber die Gegenstände zu klein, so erkennen wir sie überhaupt nicht mit den Seitentheilen der Netzhaut.

Wenn über uns, im blauen Raum verloren,
Ihr schmetternd Lied die Lerche singt,

so ist sie uns eben verloren, so lange es uns nicht gelingt ihr Bild auf die Netzhautgrube zu bringen. Dann erst erfassen wir sie mit unserem Blicke, dann nehmen wir sie wahr.

Den Blick auf ein Object hinwenden heisst: das Auge so stellen, dass das Bild jenes Objects sich auf der Stelle des deutlichsten Sehens abbildet. Dies nennen wir auch directes Sehen, indirectes dagegen, wenn wir mit den seitlichen Theilen der Netzhaut sehen.

Durch die Beweglichkeit des Auges nun, welche uns erlaubt, schnell hinter einander den Blick jedem einzelnen Theile des Gesichtsfeldes zuzuwenden, der uns gerade interessirt, werden die Mängel, welche die geringe Schärfe des Bildes und die geringere Anzahl der percipirenden Netzhautelemente in dem grösseren Theile des Gesichtsfeldes mit sich bringen, reichlich ausgeglichen, und in dieser grossen Beweglichkeit beruht in der That der grösste Vorzug, den das Auge vor unseren schwerfälligeren künstlichen Instrumenten ähnlicher Art hat. Ja bei der eigenthümlichen Weise, in der unsere Aufmerksamkeit zu arbeiten pflegt, dass sie sich nämlich in jedem einzelnen Moment nur einer Vorstellung oder Anschauung zuwendet, so wie sie diese gefasst hat, aber einer neuen zueilt, gewährt unter übrigens normalen Verhältnissen die bestehende Einrichtung des Auges gerade so viel, als erforderlich ist, und ist praktisch so vollkommen gleichwerthig mit einem in allen seinen Theilen in vollkommenster Schärfe ausgearbeiteten Gesichtsbilde, dass wir die Unvollkommenheiten des indirecten Sehens gar nicht einmal zu kennen pflegen, ehe wir geflissentlich unsere Aufmerksamkeit darauf gerichtet haben. Was uns interessirt, blicken wir an und sehen es scharf; was wir nicht scharf sehen, interessirt uns der Regel nach in dem Augenblicke auch nicht, wir beachten es nicht, und bemerken nicht die Undeutlichkeit seines Bildes.

Es wird uns im Gegentheile schwer, und erfordert lange Einübung, wenn wir einmal einer physiologischen Frage wegen unsere Aufmerksamkeit einem indirect gesehenen Objecte zuwenden wollen, ohne ihm dabei gleichzeitig das Auge zuzuwenden und es an-

Digitized by Google

zublicken. So sehr ist durch ununterbrochene Gewöhnung unsere Aufmerksamkeit an den Blickpunkt, und die Bewegung des Blicks an die der Aufmerksamkeit gefesselt. Und ebenso schwer ist es andrerseits den Blick während einer Reihe von Secunden auf einen Punkt so genau zu fixiren, wie es zum Beispiel nöthig ist, um ein wohlbegrenztes Nachbild zu erhalten. Auch das erfordert besondere Uebung.

In diesem Verhältnisse ist auch offenbar ein grosser Theil der Bedeutung begründet, welche dem Auge als Mittel seelischen Ausdrucks zukommt. Die Bewegung des Blicks ist eines der directesten Zeichen für die Bewegung der Aufmerksamkeit, und somit der Vorstellungen im Geiste des Blickenden.

Ebenso schnell, wie die Bewegungen des Blicks nach oben, nach unten, nach rechts und nach links, geschehen auch die Aenderungen der Accommodation, wodurch der optische Apparat des Auges in schnellstem Wechsel bald fernen, bald nahen Objecten angepasst werden kann, um jedes Mal von dem Gegenstande, der gerade unsere Aufmerksamkeit fesselt, ein vollkommen scharfes Bild zu geben. Alle diese Aenderungen der Richtung wie der Accommodation gehen an unseren künstlichen Instrumenten unendlich viel schwerfälliger von Statten. Eine Photographie kann niemals ferne und nahe Gegenstände zugleich deutlich zeigen, das Auge auch nicht; aber letzteres kann es nach einander in so schneller Folge thun, dass die meisten Menschen, welche über ihr Sehen nicht reflectirt haben, von diesem Wechsel gar nichts zu wissen pflegen.

Prüfen wir nun unseren optischen Apparat weiter. Wir wollen absehen von den schon erwähnten individuellen Mängeln der Accommodationsbreite, der Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit. Es sind dies Fehler, die zum Theil mit unserer künstlichen Lebensweise zusammenzuhängen scheinen, zum Theil dem höheren Lebensalter angehören. Aeltere Personen verlieren nämlich ihre Accommodationsfähigkeit und werden auf eine einzige, bald kleinere, bald grössere Entfernung beschränkt, in der sie noch deutlich sehen; für andere Entfernungen, nähere oder weitere, müssen sie mit Brillen nachhelfen.

Aber ein anderes wesentliches Verlangen, was wir an unsere künstlichen Instrumente stellen, ist, dass sie frei von Farbenzerstreuung, dass sie achromatisch seien. Die Farbenzerstreuung der optischen Instrumente rührt von dem Umstande her, dass die Brechung der verschiedenfarbigen einfachen Strahlen des Sonnen-

Digitized by Google

lichts in den uns bekannten durchsichtigen Substanzen nicht ganz gleich gross ist. Dadurch wird die Grösse und Lage der von diesen verschiedenfarbigen Strahlen entworfenen optischen Bilder etwas verschieden; dieselben decken sich dann nicht mehr ganz vollständig im Gesichtsfelde des Beschauers, und je nachdem die Bilder bald der rothen, bald der blauen Strahlen grösser sind, erscheinen weisse Flächen bald blauviolett, bald gelbroth gesäumt, und dadurch die Reinheit der Umrisse mehr oder weniger beeinträchtigt.

Es wird vielen meiner Leser bekannt sein, welch' sonderbare Rolle die Frage nach der Farbenzerstreuung im Auge bei der Erfindung der achromatischen Fernröhre gespielt hat, ein berühmtes Beispiel dafür, dass aus zwei falschen Prämissen zuweilen ein richtiger Schluss folgen kann. Newton glaubte ein Verhältniss zwischen dem Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögen verschiedener durchsichtiger Substanzen gefunden zu haben, aus welchem gefolgert werden musste, dass keine achromatischen lichtbrechenden Instrumente möglich seien. Euler schloss dagegen, weil das Auge achromatisch sei, könne die von Newton angenommene Beziehung zwischen Brechungs- und Zerstreuungsvermögen verschiedener durchsichtiger Substanzen nicht richtig sein. Er stellte danach die theoretischen Regeln auf für die Construction achromatischer Instrumente, und Dollond führte sie praktisch aus. Aber schon Dollond bemerkte, dass das Auge nicht achromatisch sein könne, weil sein Bau den von Euler aufgestellten Forderungen nicht entspreche, und Fraunhofer gab endlich messende Bestimmungen für die Grösse der Farbenzerstreuung. Ein Auge, welches für rothes Licht auf unendliche Entfernung eingestellt ist, hat im Violett nur eine Sehweite von zwei Fuss. Im weissen Lichte wird diese Farbenzerstreuung nur deshalb nicht merklich, weil die genannten äussersten Farben des Spectrum zugleich die lichtschwächsten sind, und die von ihnen entworfenen Bilder neben den lichtstärkeren mittleren gelben, grünen und blauen Farben nicht sehr ins Gewicht fallen. Aber sehr auffallend ist die Erscheinung, wenn wir durch violette Gläser die äussersten Strahlen des Spectrum isoliren. Dergleichen durch Kobaltoxyd gefärbte Gläser lassen das Roth und Blau durch, Gelb und Grün aber, also die mittleren und hellsten Farben des Spectrum, löschen sie aus. Denjenigen meiner Leser, welche Augen von normaler Sehweite haben, werden die mit solchen violetten Gläsern versehenen Strassenlaternen, des Abends von fern gesehen, eine rothe Flamme

Digitized by Google

in einem breiten blau-violetten Scheine zeigen. Letzterer ist ein Zerstreuungsbild der Flamme, von deren blauem und violettem Lichte entworfen. Dies alltägliche Phänomen gewährt die leichteste und genügendste Gelegenheit, sich von dem Bestehen der Farbenzerstreuung im Auge zu überzeugen.

Der Grund nun, warum die Farbenzerstreuung im Auge unter gewöhnlichen Umständen so wenig auffallend und in der That auch etwas kleiner ist, als sie ein gläsernes Instrument von denselben optischen Leistungen geben würde, beruht darin, dass das hauptsächlichste brechende Medium des Auges Wasser ist, welches eine geringere Farbenzerstreuung giebt als Glas. Uebrigens ist die Farbenzerstreuung des Auges doch noch etwas grösser, als ein bloss aus Wasser gebildeter Apparat unter übrigens gleichen Umständen ergeben würde. So kommt es, dass die Farbenzerstreuung des Auges, obgleich sie da ist, bei der gewöhnlichen weissen Beleuchtung das Sehen nicht in merklicher Weise beeinträchtigt.

Ein zweiter Fehler, der bei optischen Instrumenten mit starker Vergrösserung sehr in das Gewicht fällt, ist die sogenannte Abweichung wegen der Kugelgestalt der brechenden Flächen. Kugelige brechende Flächen vereinigen nämlich die von einem Objectpunkte ausgegangenen Strahlen nur dann annähernd in einen Bildpunkt, wenn alle Strahlen nahehin senkrecht auf jede einzelne brechende Fläche fallen. Sollten die Strahlen wenigstens in der Mitte des Bildes ganz genau vereinigt sein, so müsste man anders als kugelig gekrümmte Flächen anwenden, die sich nicht in nöthiger Vollkommenheit mechanisch herstellen lassen. Nun hat das Auge zum Theil elliptisch gekrümmte Flächen; und wiederum verleitete das günstige Vorurtheil, welches man für den Bau dieses Organs hatte, zu der Voraussetzung, dass bei ihm die Abweichung wegen der Kugelgestalt aufgehoben sei. Aber hierin schoss die natürliche Gunst für das Organ am weitesten über ihr Ziel hinaus. Die genauere Untersuchung ergab nämlich, dass viel gröbere Abweichungen als die wegen der Kugelgestalt am Auge vorkommen, Abweichungen, die an künstlichen Instrumenten bei einiger Sorgfalt leicht zu vermeiden sind, und neben denen es eine ganz unerhebliche Frage ist, ob noch Abweichung wegen der Kugelgestalt bestehe oder nicht. Die zuerst von Senff in Dorpat, dann mit einem geeigneteren Instrumente, dem schon genannten Ophthalmometer vom Referenten, nachher in grosser Anzahl von Donders, Knapp und Anderen ausgeführten Messungen der Hornhautkrümmungen haben ergeben, dass die Hornhaut der meisten

Digitized by Google

menschlichen Augen nicht drehrund, sondern an ihren verschiedenen Meridianen verschieden gekrümmt sei. Ich habe ferner eine Methode angegeben, um die Centrirung eines lebenden Auges zu prüfen, das heisst um zu untersuchen, ob Hornhaut und Krystalllinse für die gleiche Axe symmetrisch gebildet sind. Die Anwendung dieser Methode zeigte bei den untersuchten Augen kleine aber deutlich erkennbare Mängel der Centrirung. Die Folge dieser beiden Arten der Abweichung ist der sogenannte Astigmatismus des Auges, der sich bei den meisten menschlichen Augen in geringerem oder höherem Grade findet, und bewirkt, dass wir nicht gleichzeitig horizontale und verticale Linien in derselben Entfernung vollkommen deutlich sehen können. Ist der Grad des Astigmatismus bedeutender, so kann man die von ihm ausgehenden Störungen durch Brillengläser mit cylindrischen Flächen beseitigen. Es ist dies ein Gegenstand, der in neuester Zeit die Aufmerksamkeit der Augenärzte in hohem Grade erregt hat.

Aber damit ist es noch nicht genug. Eine nicht drehrunde elliptische brechende Fläche, ein schlecht centrirtes Fernrohr würden zwar nicht punktförmige Bilder eines Sterns geben, sondern je nach der Einstellung elliptische, kreisrunde oder strichförmige. Die Bilder eines Lichtpunkts, wie sie das Auge entwirft, sind aber noch unregelmässiger; sie sind nämlich unregelmässig strahlig. Der Grund davon liegt in der Krystalllinse, deren Faserzüge eine sechsstrahlige Anordnung zeigen, wie die in Fig. 45 dargestellte Profilansicht der Linse erkennen lässt. In der That, die Strahlen, die wir an den Sternen oder an fernen Lichtflammen sehen, sind Abbilder vom strahligen Bau der menschlichen Linse; und wie allgemein dieser Fehler ist, zeigt die allgemeine Bezeichnung einer strahligen Figur als sternförmig. Dass die Mondsichel, wenn sie recht schmal ist, vielen Personen doppelt oder dreifach erscheint, rührt eben daher.

Fig. 45.



Nun ist es nicht zuviel gesagt, dass ich einem Optiker gegenüber, der mir ein Instrument verkaufen wollte, welches die letztgenannten Fehler hätte, mich vollkommen berechtigt glauben würde, die härtesten Ausdrücke über die Nachlässigkeit seiner Arbeit zu

gebrauchen, und ihm sein Instrument mit Protest zurückzugeben In Bezug auf meine Augen werde ich freilich letzteres nicht thun sondern im Gegentheil froh sein, sie mit ihren Fehlern möglichst lange behalten zu dürfen. Aber der Umstand, dass sie mir trotz ihrer Fehler unersetzlich sind, verringert offenbar, wenn wir uns einmal auf den freilich einseitigen aber berechtigten Standpunkt des Optikers stellen, doch die Grösse dieser Fehler nicht.

Wir sind aber mit unserem Sündenregister für das Auge noch nicht fertig.

Wir verlangen vom Optiker, dass er zu seinen Linsen auch gutes klares Glas nehme, was vollkommen durchsichtig sei. Wenn das Glas trübe ist, so verbreitet sich im Bilde eines solchen Instruments rings um jede helle Fläche ein lichter Schein; das Schwarz erscheint nur grau, das Weiss nicht so hell, als es sollte. Aber gerade diese Fehler finden sich auch in dem Bilde, welches das Auge uns von der Aussenwelt zeigt; die Undeutlichkeit dunkler Gegenstände, die in der Nähe eines sehr hellen gesehen werden, rührt wesentlich von diesem Umstande her, und wenn wir Hornhaut und Krystalllinse eines lebenden Auges stark beleuchten, indem wir das Licht einer hellen Lampe durch eine Linse auf sie concentriren, sehen wir auch ihre Substanz trüb weisslich erscheinen, trüber als die wässerige Feuchtigkeit, welche zwischen beiden liegt. Am auffallendsten ist diese Trübung im blauen und violetten Lichte des Sonnenspectrum; dann tritt nämlich noch die sogenannte Fluorescenz hinzu, welche die Trübung vermehrt. Mit dem Namen der Fluorescenz bezeichnet man bekanntlich die Fähigkeit gewisser Körper, zeitweilig schwach selbstleuchtend zu werden, so lange sie von violettem und blauem Lichte bestrahlt werden. Der bläuliche Schein der Chininlösungen, der grüne des gelbgrünen Uranglases rührt davon her. Die Fluorescenz der Hornhaut und Linse scheint in der That von einer kleinen Menge einer chininähnlichen Substanz herzukommen, die in ihrem Gewebe vorhanden ist. Für den Physiologen freilich ist diese Eigenschaft der Krystalllinse sehr werthvoll; denn man kann letztere durch stark concentrirtes blaues Licht auch im lebenden Auge gut sichtbar machen, constatiren, dass sie dicht hinter der Iris und dieser eng anliegt, worüber lange falsche Ansichten geherrscht haben. Für das Sehen aber ist die Fluorescenz der Hornhaut und Krystalllinse jedenfalls nur nachtheilig.

Ueberhaupt ist die Krystalllinse, so schön und klar sie auch aussieht, wenn man sie aus dem Auge eines frisch geschlachteten

Digitized by Google

Thieres herausnimmt, optisch sehr wenig homogen. Man kann die Schatten der im Auge enthaltenen Trübungen und dunklen Körperchen, die sogenannten entoptischen Objecte, auf der Netzhaut sichtbar machen, wenn man durch eine sehr feine Oeffnung nach einer ausgedehnten hellen Fläche, dem hellen Himmel zum Beispiel, blickt. Den grössten Beitrag zu diesen Schatten geben immer die Faserzüge und Flecken der Krystalllinse. Daneben werden auch allerlei im Glaskörper schwimmende Fäserchen, Körnchen, Membranfalten sichtbar, die, wenn sie sich nahe vor der Netzhaut befinden, auch wohl beim gewöhnlichen Gebrauche des Auges als sogenannte fliegende Mücken zum Vorschein kommen, so genannt, weil sie, wenn man den Blick auf sie richten will, sich mit dem Auge fortbewegen und also vor dem Blickpunkte immer her fliehen, was den Eindruck macht, als sähe man ein fliegendes Insect. Dergleichen sind in allen Augen vorhanden, und schwimmen gewöhnlich ausserhalb des Gesichtsfeldes im höchsten Punkte des Augapfels, verbreiten sich aber im Glaskörper, wenn dieser durch schnelle Bewegungen des Auges gleichsam aufgerührt wird. Gelegentlich kommen sie dann vor die Netzhautgrube und erschweren das Sehen. Charakteristisch für die Art, wie wir die Sinnesempfindungen beachten, ist auch hier der Umstand, dass dergleichen Objecte Personen, die anfangen an den Augen zu leiden, nicht selten als etwas Neues auffallen, worüber sie sich ängstigen, obgleich zweifellos dieselben Gegenstände schon längst vor ihrer gegenwärtigen Erkrankung in ihrem Glaskörper geschwommen haben.

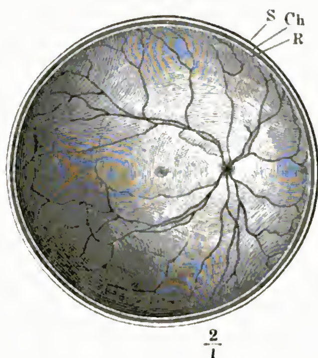
Kennt man übrigens die Entstehungsgeschichte des Augapfels bei den Embryonen des Menschen und der Wirbelthiere, so erklären sich diese Unregelmässigkeiten in der Structur der Linse und des Glaskörpers von selbst. Beide entstehen nämlich, indem sich beim Embryo ein Theil der äusseren Haut grubenförmig einzieht, sich zu einem flaschenförmigen Hohlraume erweitert, bis der Hals der Flasche sich zuletzt ganz abschnürt. Die Oberhautzellen dieses abgeschnürten Säckchens klären sich zur Substanz der Linse; die Haut selbst wird zur Linsenkapsel, ihr lockeres Unterhautbindegewebe zur sulzigen Masse des Glaskörpers. Die Abschnürungsnarbe zeigt sich noch im entoptischen Bilde mancher erwachsenen Augen.

Wir können hier endlich gewisse Unregelmässigkeiten des Grundes nicht unerwähnt lassen, auf welchem das optische Bild des Auges aufgefangen wird. Erstens hat die Netzhaut nicht sehr

Digitized by Google

weit von der Mitte des Gesichtsfeldes eine Lücke; da nämlich, wo der Sehnerv in das Auge tritt. Hier ist die ganze Masse der Membran von den eintretenden Sehnervenfasern gebildet, und es fehlen die eigentlich lichtempfindlichen Elemente, die Zapfen. Daher wird Licht, was auf diese Stelle fällt, auch nicht empfunden. Dieser Lücke in dem Mosaik der Zapfen, dem sogenannten blinden Flecke, entspricht eine Lücke im Gesichtsfelde, in deren Ausdehnung nichts wahrgenommen wird. Fig. 46 stellt die innere Ansicht der hinteren Hälfte eines querdurchschnittenen Augapfels dar. Man sieht zunächst die Netzhaut *R* vor sich mit ihren baumförmig verästelten Gefässen. Der Punkt, von wo aus diese sich verzweigen, ist die Eintrittsstelle des Sehnerven. Links daneben ist der gelbe Fleck der Netzhaut angedeutet. Diese Lücke ist gar nicht unbedeutend; sie hat etwa 6 Winkelgrade im horizontalen und 8° im verticalen Durchmesser, und ihr innerer Rand liegt etwa 12° in horizontaler Richtung vom Fixationspunkte aus nach der Schläfenseite desselben hin entfernt. Die Methode, wie man die Lücke am leichtesten erkennt, wird vielen meiner Leser bekannt sein. Man zeichne auf weisses Papier horizontal neben einander links ein kleines Kreuzchen, rechts etwa drei Zoll davon entfernt einen kreisförmigen schwarzen Fleck, einen halben Zoll im Durchmesser. Man schliesse das linke Auge, betrachte mit dem rechten unverwandt das Kreuzchen, und bringe das Papier langsam aus grösserer Entfernung dem Auge näher. In etwa elf Zoll Entfernung wird man den schwarzen Kreis verschwinden sehen, und wieder erscheinen, wenn man das Papier noch weiter nähert.

Fig. 46.



Die Lücke ist gross genug, dass in ihr horizontal neben einander elf Vollmonde verschwinden könnten, oder ein 6 bis 7 Fuss entferntes menschliches Gesicht. Mariotte, der das Phänomen entdeckt hatte, amüsirte König Karl II. von England und seine

Digitized by Google

Hofleute damit, dass er sie lehrte, wie sie sich gegenseitig ohne Kopf erblicken könnten.

Eine Anzahl kleinerer spaltförmiger Lücken, in denen kleinere helle Punkte, einzelne Fixsterne zum Beispiel, verschwinden können, entsprechen den grösseren Gefässstämmen der Netzhaut. Die Gefässe liegen nämlich in den vorderen Schichten dieser Membran, und werfen deshalb ihren Schatten auf die hinter ihnen liegenden Theile des lichtempfindlichen Mosaiks. Die dickeren halten das Licht ganz ab, die dünneren schwächen es wenigstens. Diese Schatten der Netzhautgefässe können auch im Gesichtsfelde zur Erscheinung kommen, zum Beispiel, wenn man in ein Kartenblatt mit einer Nadel eine feine Oeffnung macht, und durch diese nach dem hellen Himmel sieht, während man das Blatt mit der Oeffnung fortdauernd ein wenig hin und her bewegt. Noch schöner sieht man sie, wenn man durch eine kleine Brennlinse Sonnenlicht auf die weisse Sehnenhaut des Auges am äusseren Augenwinkel concentrirt, während man das Auge gegen die Nase hinwendet. Sie erscheinen dann in der baumförmig verästelten Form, wie sie Fig. 46 darstellt, aber in riesiger Grösse. Es liegen diese Gefässe, welche den Schatten geben, in den vorderen Schichten der Netzhaut selbst, und natürlich können ihre Schatten nur empfunden werden, wenn durch sie die eigentlich lichtempfindliche Schicht der Netzhaut getroffen wird. Daraus folgt, dass die hinteren Schichten der Netzhaut lichtempfindlich sein müssen. Ja es ist sogar mittels dieses Phänomens der Gefässschatten die Entfernung der lichtempfindlichen Schicht der Netzhaut von ihren Gefässe führenden Schichten messbar geworden. Wenn man nämlich den Brennpunkt des auf der Sehnenhaut concentrirten Lichtes ein wenig verschiebt, bewegt sich auch der Schatten auf der Netzhaut und ebenso sein Abbild im Gesichtsfelde. Die Grösse dieser Verschiebungen kann leicht gemessen werden, und daraus hat der, der Wissenschaft leider zu früh entrissene, Heinrich Müller in Würzburg jenen Abstand berechnet, und ihn gleich gefunden dem Abstande zwischen der gefässführenden Schicht und den Zapfen.

Gerade die Stelle des deutlichsten Sehens zeichnet sich übrigens in anderer Beziehung wieder zu ihrem Nachtheile aus; sie ist nämlich weniger empfindlich für schwaches Licht, als die übrige Netzhaut. Es ist seit alter Zeit bekannt, dass man eine Anzahl schwächerer Sterne, zum Beispiel das Haar der Berenice, die Plejaden, heller sieht, wenn man nach einem etwas seitwärts gelegenen Punkte blickt, als wenn man sie direct fixirt. Dies rührt nach-

Digitized by Google

weisbar zum Theil von der gelben Färbung dieser Stelle her, da blaues Licht dort am meisten geschwächt wird, zum Theil mag es auch von dem Mangel der Gefässe in der genannten Stelle bedingt sein, den wir schon erwähnt haben; dadurch wird nämlich ihr Verkehr mit dem belebenden Blute erschwert.

Alle diese Unregelmässigkeiten würden nun in einer künstlichen Camera obscura, oder in dem von ihr erzeugten photographischen Bilde äusserst störend sein. Im Auge sind sie es nicht, so wenig, dass es sogar theilweise recht schwer war, sie überhaupt aufzufinden. Der Grund, dass sie die Wahrnehmung der äusseren Objecte nicht stören, hängt nicht allein davon ab, dass wir mit zwei Augen sehen, und dass, wo das eine Auge schlecht sieht, in der Regel das andere genügende Auskunft giebt. Denn auch beim Sehen mit einem Ange und bei Einäugigen ist das Anschauungsbild, was wir vom Gesichtsfelde haben, frei von den Störungen, welche die Unregelmässigkeiten des Grundes sonst veranlassen könnten. Der Hauptgrund ist vielmehr wieder in den fortdauernden Bewegungen des Auges zu suchen, und darin, dass die Fehler fast immer nur in diejenigen Stellen des Gesichtsfeldes fallen, von denen wir zur Zeit unsere Aufmerksamkeit abwenden.

Dass wir aber diese und andere dem Auge selbst angehörige Gesichtserscheinungen, wie zum Beispiel die Nachbilder heller Objecte, so lange sie nicht stark genug werden, um die Wahrnehmung äusserer Gegenstände zu hindern, so schwer bemerken, ist eine andere sehr wunderliche und paradoxe Eigenthümlichkeit unserer Sinneswahrnehmungen, die nicht bloss beim Gesichtssinn, sondern auch bei den anderen Sinnen sich regelmässig wiederholt. Am besten zeigt sich dies in der Geschichte der Entdeckungen dieser Phänomene. Einzelne von ihnen, wie zum Beispiel der blinde Fleck, sind durch theoretische Ueberlegungen gefunden worden. In dem lange geführten Streite, ob die Netzhaut oder die Aderhaut den Sitz der Lichtempfindung enthalte, fragte sich Mariotte, wie denn die Empfindung dort sich verhalte, wo die Aderhaut durchbohrt sei. Er stellte also besondere Versuche für diesen Zweck an und entdeckte die Lücke im Gesichtsfelde. Jahrtausende lang hatten Millionen von Menschen ihr Auge gebraucht, Tausende von ihnen hatten über dessen Wirkungen und ihre Ursachen nachgedacht, und schliesslich gehörte eine solche besondere Verkettung von Umständen dazu, ein so einfaches Phänomen, was, wie man denken sollte, sich der unmittelbarsten Wahrnehmung ergeben müsste, zu bemerken; und noch jetzt findet ein Jeder, der zum ersten Male

Digitized by Google

in seinem Leben die Versuche über den blinden Fleck wiederholt, eine gewisse Schwierigkeit, seine Aufmerksamkeit von dem Fixationspunkte des Blicks abzulenken, ohne diesen selbst zu verrücken. Ja, es gehört eine lange Gewöhnung an optische Versuche dazu, ehe selbst ein geübter Beobachter im Stande ist, beim Schliessen eines Auges sogleich im Gesichtsfelde die Stelle zu erkennen, wo sich die Lücke befindet.

Andere der hierher gehörigen Erscheinungen sind durch Zufall und dann meist auch nur von besonders in dieser Beziehung begabten Individuen, deren Aufmerksamkeit dafür mehr als bei Anderen geschärft war, entdeckt worden. Unter diesen Beobachtern sind besonders Goethe, Purkinje und Johannes Müller zu nennen. Sobald ein anderer Beobachter ein solches Phänomen, das er aus der Beschreibung kennt, in seinen eigenen Augen wiederzusuchen unternimmt, gelingt ihm dies wohl leichter, als ein neues zu entdecken; und doch ist eine grosse Zahl der Erscheinungen, welche Purkinje beschreibt, von Anderen noch nicht wiedergesehen worden, ohne dass man mit Sicherheit behaupten könnte, dass dieselben nur individuelle Eigenthümlichkeiten der Augen dieses scharfsichtigen Beobachters gewesen wären.

Die bisher genannten Erscheinungen und eine ganze Reihe von anderen kann man unter die allgemeine Regel bringen, dass eine Aenderung des Erregungsgrades eines Empfindungsnerven viel leichter wahrgenommen wird, als eine gleichmässig andauernde Erregung. Dieser Regel entspricht es, dass alle gleichmässig das ganze Leben hindurch stattfindenden Besonderheiten in der Erregung einzelner Fasern, wie die Gefässschatten des Auges, die gelbe Färbung des Netzhautcentrums, die meisten festen entoptischen Objecte gar nicht wahrgenommen werden, und dass ungewöhnliche Arten der Beleuchtung, namentlich aber fortdauernder Wechsel ihrer Richtung dazu gehört, sie wahrnehmbar zu machen.

Nach dem, was wir bisher über die Nervenerregung wissen, erscheint es mir höchst unwahrscheinlich, dass wir es hier mit einem reinen Phänomen der Empfindung zu thun haben; ich glaube es vielmehr für ein Phänomen der Aufmerksamkeit erklären zu müssen, und wollte hier nur vorläufig auf seine Existenz aufmerksam machen, weil die Frage, die sich uns hier schon aufdrängt, erst später in ihrem richtigen Zusammenhange beantwortet werden kann.

So viel über die physikalischen Leistungen des Auges. Wenn man mich fragt, warum ich den Leser so weitläuftig von dessen

Digitized by Google

Unvollkommenheiten unterhalten habe, so antworte ich, dass dies nicht geschehen ist, wie auch meine vorausgeschickten Verwahrungen bezeugen sollten, um die Leistungen des kleinen Organs herabzusetzen und die Bewunderung dafür zu vermindern. Es kam mir darauf an, schon in diesem Gebiete den Leser darauf aufmerksam zu machen, dass es nicht die mechanische Vollkommenheit der Sinneswerkzeuge ist, welche uns diese wunderbar treuen und genauen Eindrücke verschafft. Der nächste Abschnitt unserer Untersuchung wird uns noch viel kühnere und paradoxere Incongruenzen kennen lehren. Wir sahen bisher, dass das Auge an sich als optisches Instrument durchaus nicht so vollkommen ist, wie es scheint, sondern so Ausserordentliches nur leistet bei der besonderen Art, wie wir es gebrauchen. Seine Vollkommenheit ist eine rein praktische, keine absolute; sie besteht nicht darin, dass alle Fehler vermieden wären, sondern darin, dass alle diese Fehler den nützlichsten und mannigfaltigsten Gebrauch nicht unmöglich machen.

In dieser Beziehung lässt das Studium des Auges einen tiefen Blick in den Charakter der organischen Zweckmässigkeit überhaupt thun, einen Blick, der um so interessanter ist, wenn wir ihn mit den grossen und kühnen Gedanken in Beziehung setzen, welche neuerdings Darwin über die Art der fortschreitenden Vervollkommnung der organischen Geschlechter in unsere Wissenschaft geworfen hat. Auch wo wir sonst in die organischen Bildungen hineinblicken, finden wir überall den gleichen Charakter praktischer Zweckmässigkeit, wir können denselben nur vielleicht nirgends so in das Einzelne verfolgen, wie wir es beim Auge können. Das Auge hat alle möglichen Fehler optischer Instrumente, einzelne sogar, die wir an künstlichen Instrumenten nicht leiden würden, aber sie sind alle in solchen Grenzen gehalten, dass die durch sie bewirkte Ungenauigkeit des Bildes unter gewöhnlichen Bedingungen der Beleuchtung das Maass nicht weit überschreitet, welches der Feinheit der Wahrnehmung durch die Feinheit der lichtempfindenden Zapfen gesetzt ist. So wie man dagegen unter etwas veränderten Umständen beobachtet, bemerkt man die Farbenzerstreuung, den Astigmatismus, die Lücken, die Gefässschatten, die unvollkommene Durchsichtigkeit der Medien und so fort.

Was also die Anpassung des Auges an seinen Zweck betrifft, so ist sie im vollkommensten Maasse vorhanden, und zeigt sich gerade auch in der Grenze, die seinen Fehlern gezogen ist. Hier fällt freilich das, was die Arbeit unermesslicher Reihen von Gene-

Digitized by Google

rationen unter dem Einfluss des Darwin'schen Erblichkeitsgesetzes erzielen kann, mit dem zusammen, was die weiseste Weisheit vorbedenkend ersinnen mag. Ein verständiger Mann wird Brennholz nicht mit einem Rasirmesser spalten wollen, und dem entsprechend mögen wir annehmen, dass jede Verfeinerung des optischen Baues des Auges das Organ verletzlicher oder langsamer in seiner Entwickelung gemacht haben würde. Auch müssen wir berücksichtigen, dass weiche, mit Wasser durchzogene thierische Gewebe immerhin ein ungünstiges und schwieriges Material für ein physikalisches Instrument sind.

Eine Folge dieser Einrichtung, deren Wichtigkeit später noch hervortreten wird, ist, dass nur bei der besonderen Art unseren Blick im Gesichtsfelde herumzuführen, die oben schon theilweise beschrieben ist, ungestört deutliche Wahrnehmungen möglich sind. Andere Umstände, die mit den beschriebenen in gleicher Richtung wirken, werden wir später noch kennen lernen.

Sonst sind wir bis jetzt dem Verständniss des Sehens scheinbar nicht viel näher gekommen. Nur eines haben wir gelernt, wie nämlich durch die Einrichtung des optischen Apparats des Auges es möglich gemacht wird, das Licht, was von verschiedenen Punkten des Gesichtsfeldes her vermischt in unser Auge dringt, wieder zu sondern und alles, was von einem Punkte ausgegangen ist, wieder in einer Nervenfaser zur Empfindung zu bringen.

Sehen wir also zunächst zu, ob, was wir von den Empfindungen des Auges wissen, uns der Lösung des Räthsels näher bringen wird.

Digitized by Google

II.

Die Gesichtsempfindungen.

Wir haben im ersten Abschnitte unseres Berichtes den Gang der Lichtstrahlen bis zur Netzhaut des Auges verfolgt und gesehen, wie durch die besondere Einrichtung des optischen Apparates bewirkt wird, dass das von den einzelnen leuchtenden Punkten der Aussenwelt ausgegangene Licht sich in den empfindlichen Endapparaten einzelner Nervenfasern wieder vereinigt, so dass es nur diese allein, nicht aber ihre Nachbarn in Erregung versetzt. Hier glaubte die ältere Physiologie ihre Aufgabe gelöst zu haben, soweit sie ihr lösbar erschien. In der Netzhaut traf das äussere Licht unmittelbar auf empfindende Nervensubstanz und konnte von dieser, wie es schien, direct empfunden werden.

Das vorige Jahrhundert aber und namentlich das erste Viertel dieses Jahrhunderts bildeten die Kenntniss von den Vorgängen im Nervensystem so weit aus, dass Johannes Müller, damals noch in Bonn, später in Berlin, schon im Jahre 1826 in seinem Epoche machenden Werke: „Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns" die wichtigsten Grundzüge für die Lehre von dem Wesen der Sinnesempfindungen hinstellen konnte, Grundzüge, welche durch die Forschungen der darauf folgenden Zeit bisher in allen wesentlichen Stücken nicht nur bestätigt wurden, sondern sogar von noch weitergehender Anwendbarkeit sich erwiesen, als der berühmte Berliner Physiolog nach den ihm vorliegenden Thatsachen damals vermuthen konnte. Die von ihm aufgestellten Sätze werden gewöhnlich unter dem Namen der Lehre von den specifischen Sinnesenergien zusammengefasst. Diese Sätze sind also nicht mehr so neu und so unbekannt, dass sie ge-

Digitized by Google

rade zu den neuesten Fortschritten der Theorie des Sehens, von denen dieser Bericht handeln soll, zu rechnen wären; auch sind sie öfters, von Anderen sowohl wie von mir selbst [1]), populär dargestellt worden. Aber der ganze hierher gehörige Theil der Lehre vom Sehen ist kaum etwas Anderes, als eine weitere Entwickelung und Durchführung der Lehre von den specifischen Sinnesenergien, und ich muss deshalb den Leser um Verzeihung bitten, wenn ich, um den Zusammenhang des Ganzen übersichtlich zu erhalten, ihm hier mancherlei Bekanntes wieder vorführe, vermischt mit dem Neuen, was ich an seiner Stelle einschalten will.

Alles, was wir von der Aussenwelt wahrnehmen, nehmen wir dadurch wahr, dass gewisse Veränderungen, die durch äussere Eindrücke in unseren Sinnesorganen hervorgebracht worden sind, durch die Nerven zum Gehirne fortgeleitet werden; hier erst kommen sie zum Bewusstsein und werden mit einander zu Vorstellungen der Objecte verbunden. Durchschneiden wir den leitenden Nerven, so dass die Fortleitung des Eindrucks zum Gehirn aufgehoben wird, so hört damit auch die Empfindung und die Perception des Eindrucks auf. Für das Auge speciell liegt der Beweis dafür, dass die Gesichtsanschauung nicht unmittelbar in jeder Netzhaut, sondern erst mittels des fortgeleiteten Eindrucks der Netzhäute im Gehirn zu Stande kommt, darin, dass, wie wir später noch näher erörtern werden, das Gesichtsbild eines körperlich ausgedehnten Gegenstandes von drei Dimensionen erst durch die Verschmelzung und Verbindung der Eindrücke beider Augen zu Stande kommt.

Was wir also unmittelbar wahrnehmen, ist niemals die directe Einwirkung des äusseren Agens auf die Enden unserer Nerven, sondern stets nur die von den Nerven fortgeleitete Veränderung, welche wir als den Zustand der Reizung oder Erregung des Nerven bezeichnen.

Nun sind alle Nervenfäden des Körpers, so weit die bisher gesammelten Thatsachen es erkennen lassen, von derselben Structur, und die Veränderung, welche wir ihre Erregung nennen, ist in allen ein Vorgang von genau derselben Art, so vielfach verschiedenen Thätigkeiten auch die Nerven im Körper dienen. Denn

---

[1]) „Ueber die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen" in den Königsberger naturwissenschaftlichen Unterhaltungen. Bd. III. 1852. (S. meine „Wissensch. Abhandl." Bd. II. S. 591.) „Ueber das Sehen des Menschen, ein populär wissenschaftlicher Vortrag von H. Helmholtz. Leipzig, 1855." (Siehe S. 365 dieses Bandes.)

Digitized by Google

sie haben nicht allein die schon erwähnte Aufgabe, Empfindungseindrücke von den äusseren Organen her zum Gehirn zu leiten; andere Nerven leiten im Gegentheil Anstösse, die die Willensthätigkeit hervorbringt, vom Gehirn aus zu den Muskeln, und bringen diese in Zusammenziehung und dadurch die Glieder des Körpers in Bewegung. Andere leiten die Thätigkeit vom Gehirn zu gewissen Drüsen und rufen deren Secretion hervor, oder zum Herzen und den Gefässen, wo sie den Blutlauf regeln, und so weiter. Aber die Fasern aller dieser Nerven sind die gleichen mikroskopisch feinen, glashellen, cylindrischen Fäden mit demselben theils öligen, theils eiweissartigen Inhalt. Zwar besteht ein Unterschied ihrer Dicke, der aber, so weit wir erkennen können, nur von nebensächlichen Verhältnissen, von der Rücksicht auf die nöthige Festigkeit und auf die nöthige Anzahl unabhängiger Leitungswege abhängt, ohne in einer wesentlichen Beziehung zur Verschiedenheit ihrer Wirkungen zu stehen. Alle haben auch, wie aus den Untersuchungen namentlich von E. du Bois-Reymond hervorgeht, dieselben elektromotorischen Wirkungen, in allen wird der Zustand der Erregung durch dieselben mechanischen, elektrischen, chemischen oder Temperaturveränderungen hervorgerufen, pflanzt sich mit derselben messbaren Geschwindigkeit von etwa hundert Fuss in der Secunde nach beiden Enden der Faser hin fort, und bringt dabei dieselben Abänderungen in ihren elektromotorischen Eigenschaften hervor. Alle endlich sterben unter denselben Bedingungen ab und erleiden entsprechende, nur nach ihrer Dicke etwas verschieden erscheinende Gerinnungen ihres Inhalts beim Absterben. Kurz Alles, was wir über die verschiedenen Arten der Nerven ermitteln können, ohne dass dabei die anderen Organe des Körpers, mit denen sie verbunden sind, und an denen im lebenden Zustande die Wirkungen ihrer Erregung zu Tage kommen, mitwirken, alles das ist für die verschiedenen Arten der Nerven durchaus gleich. Ja es ist in neuester Zeit zweien französischen Physiologen, Philippeau und Vulpian, gelungen, die obere Hälfte des durchschnittenen Empfindungsnerven der Zunge mit dem unteren Ende des gleichfalls durchschnittenen Bewegungsnerven der Zunge zusammenzuheilen. Erregung des oberen Stückes, welche sich unter normalen Verhältnissen als Empfindung äussert, wurde bei dieser veränderten Verbindung auf den angeheilten Bewegungsnerven und die Muskelfasern der Zunge übertragen, und erschien nun als motorische Erregung.

Wir schliessen daraus, dass alle Verschiedenheit, welche die

Wirkung der Erregung verschiedener Nervenstämme zeigt, nur von der Verschiedenheit der Organe abhängt, mit welchen der Nerv verbunden ist, und auf die er den Zustand seiner Erregung überträgt.

Man hat die Nervenfäden oft mit den Telegraphendrähten verglichen, welche ein Land durchziehen; und in der That ist dieser Vergleich in hohem Grade geeignet, eine hervorstechende und wichtige Eigenthümlichkeit ihrer Wirkung klar zu machen. Denn es sind in dem Telegraphennetze überall dieselben kupfernen oder eisernen Drähte, welche dieselbe Art von Bewegung, nämlich einen elektrischen Strom, fortleiten, dabei aber die verschiedenartigsten Wirkungen in den Stationen hervorbringen, je nach den Hülfsapparaten, mit denen sie verbunden werden. Bald wird eine Glocke geläutet, bald ein Zeigertelegraph, bald ein Schreibtelegraph in Bewegung gesetzt; bald sind es chemische Zersetzungen, durch welche die Depesche notirt wird. Ja auch Erschütterungen der menschlichen Arme, wie sie der elektrische Strom hervorbringt, können als telegraphische Zeichen benutzt werden, und bei der Legung des atlantischen Kabels fand W. Thomson, dass die allerschwächsten Signale noch durch Geschmacksempfindungen erkannt werden konnten, wenn man die Drähte an die Zunge legte. Wieder in anderen Fällen benutzen wir Telegraphendrähte, um durch starke elektrische Ströme Minen zu sprengen. Kurz jede von den hundertfältig verschiedenen Wirkungen, welche elektrische Ströme überhaupt hervorbringen können, kann ein Telegraphendraht, nach jedem beliebig entlegenen Orte hingelegt, veranlassen, und immer ist es derselbe Vorgang im Drahte, der alle diese verschiedenen Wirkungen hervorruft.

So sind Telegraphendrähte und Nerven sehr auffällige Beispiele zur Erläuterung des Satzes, dass gleiche Ursachen unter verschiedenen Bedingungen verschiedene Wirkungen haben können. So trivial uns dieser Satz auch klingen mag, so lange und schwer hat doch die Menschheit gearbeitet, ehe sie ihn begriffen und an Stelle der früher vorausgesetzten Gleichartigkeit von Ursache und Wirkung gesetzt hat. Und man kann kaum behaupten, dass seine Anwendung uns schon ganz geläufig geworden sei. Gerade in dem Gebiete, welches uns hier vorliegt, hat sich das Widerstreben gegen seine Consequenzen bis in die neueste Zeit hinein erhalten.

Während also Muskelnerven, gereizt, Bewegung verursachen, Drüsennerven Secretion, so bringen Empfindungsnerven, wenn sie

Digitized by Google

gereizt werden, Empfindung hervor. Nun haben wir aber sehr verschiedene Arten der Empfindung. Vor allen Dingen zerfallen die auf Dinge der Aussenwelt bezüglichen Empfindungen in fünf von einander gänzlich getrennte Gruppen, den fünf Sinnen entsprechend, deren Verschiedenheit so gross ist, dass nicht einmal eine Vergleichung einer Lichtempfindung und Tonempfindung oder Geruchempfindung in Bezug auf ihre Qualität möglich ist. Wir wollen diesen Unterschied, welcher also viel eingreifender als der Unterschied vergleichbarer Qualitäten ist, den Unterschied des Modus der Empfindung nennen, dagegen den zwischen Empfindungen, die demselben Sinne angehören, zum Beispiel den Unterschied zwischen den verschiedenen Farbenempfindungen, als einen Unterschied der Qualität bezeichnen.

Ob wir bei der Reizung eines Nervenstammes eine Muskelbewegung, eine Secretion oder eine Empfindung hervorbringen, hängt davon ab, ob wir einen Muskelnerven, einen Drüsennerven oder einen Empfindungsnerven getroffen haben, und gar nicht davon, welche Art der Reizung wir angewendet haben, ob einen elektrischen Schlag, oder Zerrung, oder Durchschneidung des Nerven, oder ob wir ihn mit Kochsalzlösung benetzt, oder mit einem heissen Drahte berührt haben. Ebenso — und das war der grosse Fortschritt, den Johannes Müller machte — hängt der Modus der Empfindungen, wenn wir einen empfindenden Nerven erregen, ob Licht oder Schall, oder ein Tastgefühl, ein Geruch oder Geschmack empfunden werde, ebenfalls nur davon ab, welchem Sinne der gereizte Nerv angehört, und nicht von der Art des Reizes.

Wenden wir dies auf den Sehnerven an, der uns hier vor Allem beschäftigt. Zunächst wissen wir, dass keine Art der Einwirkung auf irgend einen Körpertheil, als auf das Auge allein und den zu ihm gehörigen Sehnerven, jemals Lichtempfindung hervorruft. Die dem allein entgegenstehenden Geschichten von Somnambulen dürfen wir uns schon erlauben nicht zu glauben. Andererseits ist es aber nicht allein das äussere Licht, was im Auge Lichtempfindung hervorrufen kann, sondern auch jede andere Art der Einwirkung, die einen Nerven zu erregen im Stande ist. Elektrische Strömungen der allerschwächsten Art, durch das Auge geleitet, erregen Lichtblitze. Ein Stoss oder auch ein schwacher Druck, mit dem Fingernagel gegen die Seite des Augapfels ausgeübt, erregen im dunkelsten Raume Lichtempfindungen, und zwar unter günstigen Umständen ziemlich intensive. Dabei wird, wie wohl zu bemerken ist, nicht etwa objectives Licht in der Netzhaut entwickelt, wie

einige ältere Physiologen angenommen haben. Denn die Lichtempfindung kann intensiv genug sein, dass die zu ihrer Hervorbringung nöthige Erhellung der Netzhaut ohne Schwierigkeit von einem zweiten Beobachter von vorn her durch die Pupille müsste gesehen werden können, wenn die Empfindung wirklich durch eine Lichtentwickelung in der Netzhaut erregt worden wäre. Davon ist aber nicht die leiseste Spur vorhanden. Ein Druck, ein elektrischer Strom erregt wohl den Sehnerven und dem Müller'schen Gesetz entsprechend also Lichtempfindung, aber unter den hier vorkommenden Umständen wenigstens nicht die kleinste Menge wirklichen Lichtes.

Ebenso kann auch Andrang des Blutes zum Auge, abnorme Zusammensetzung desselben in fieberhaften Krankheiten oder nach Einführung berauschender und narkotischer Stoffe Lichtempfindungen im Sehnervenapparate hervorbringen, denen kein äusseres Licht entspricht. Ja sogar in Fällen, wo durch Verletzung oder Operation ein Auge ganz verloren ist, kann der Wundreiz am Nervenstumpfe noch phantastische Lichtempfindungen erzeugen.

Es folgt daraus zunächst, dass der eigenthümliche Modus, wodurch die Lichtempfindung sich von allen anderen Empfindungen unterscheidet, nicht etwa von ganz besonders eigenthümlichen Eigenschaften des äusseren Lichtes abhängt und solchen entspricht, sondern dass jede Einwirkung, welche eben fähig ist den Sehnerven in Erregungszustand zu versetzen, Lichtempfindung hervorbringt, eine Empfindung, welche derjenigen, die durch äusseres Licht entsteht, so ununterscheidbar ähnlich ist, dass Leute, die das Gesetz dieser Erscheinungen nicht kennen, sehr leicht in den Glauben verfallen, sie hätten eine wirkliche objective Lichterscheinung gesehen.

Das äussere Licht bewirkt also im Sehnerven nichts Anderes, als was auch Agentien von ganz verschiedener Natur bewirken können. Nur in einer Beziehung ist es den übrigen Erregungsmitteln dieses Nerven gegenüber bevorzugt, darin nämlich, dass der Sehnerv, in der Tiefe des prallen Augapfels und der knöchernen Augenhöhle verborgen, der Einwirkung aller anderen Erregungsmittel fast ganz entzogen ist, und von ihnen nur selten und ausnahmsweise getroffen wird, während die Lichtstrahlen durch die durchsichtigen Mittel des Auges fortdauernd ungehindert zu ihm dringen können. Andererseits ist aber auch der Sehnerv wegen der an den Enden seiner Fasern angebrachten besonderen Endorgane, der Zapfen und Stäbchen der Netzhaut, unverhältniss-

Digitized by Google

mässig empfindlicher gegen die Lichtstrahlen, als irgend ein anderer Nervenapparat des Körpers, da die übrigen nur dann von den Lichtstrahlen afficirt werden, wenn diese hinreichend concentrirt sind, um merkliche Temperaturerhöhungen zu bewirken.

Durch diesen Umstand erklärt es sich, dass für uns die Empfindung im Sehnervenapparat das gewöhnliche sinnliche Zeichen für die Anwesenheit von Licht im Gesichtsfelde ist, und dass wir Licht und Lichtempfindung immer verbunden glauben, selbst wo sie es nicht sind; während wir doch, sobald wir die Thatsachen in ihrem ganzen Zusammenhange überblicken, nicht daran zweifeln können, dass das äussere Licht nur e i n e r der Reize ist, welcher, wie auch andere Reize, den Sehnerven in erregten Zustand versetzen kann, und dass also keineswegs eine ausschliessliche Beziehung zwischen Licht und Lichtempfindung besteht.

Nachdem wir so die Einwirkung der Reize auf die Sinnesnerven im Allgemeinen besprochen haben, wollen wir dazu übergehen die qualitativen Unterschiede der Lichtempfindung insbesondere, nämlich die Empfindungen verschiedener F a r b e n, kennen zu lernen und namentlich zuzusehen, inwiefern diese Unterschiede der Empfindung wirklichen Unterschieden der Körperwelt entsprechen.

Die Physik weist uns nach, dass das Licht eine sich wellenförmig verbreitende schwingende Bewegung eines durch den Weltraum verbreiteten elastischen Mittels ist, welches sie den L i c h t - ä t h e r nennt, eine Bewegung ähnlicher Art, wie die auf einer ebenen Wasserfläche, die ein Stein traf, sich ausbreitenden Wellenringe, oder wie die Erschütterung, welche sich durch unseren Luftkreis als Schall fortpflanzt; nur dass sowohl die Ausbreitung des Lichts, als auch die Geschwindigkeit, mit der die einzelnen von den Lichtwellen bewegten Theilchen hin und her gehen, ausserordentlich viel grösser ist, als die der Wasser- und Schallwellen.

Nun gehen von der Sonne Lichtwellenzüge aus, die durch ihre Grössenverhältnisse beträchtlich von einander unterschieden sind, so wie wir auch auf einer Wasserfläche bald kleines Gekräusel, d. h. kurze Wellen, deren Wellenberge einen oder einige Zoll von einander abstehen, sehen können, bald die langen Wogen des Oceans, zwischen deren schäumenden Kämmen Thäler von 60, ja selbst 100 Fuss Breite gelegen sind. Aber wie hohe und niedrige, kurze und lange Wellen einer Wasserfläche nicht der Art nach, sondern nur der Grösse nach von einander unterschieden sind, so sind die verschiedenen Lichtwellenzüge, die von der Sonne aus-

Digitized by Google

gehen, zwar ihrer Stärke nach und ihrer Wellenlänge nach unterschieden, führen aber übrigens alle dieselbe Art der Bewegung aus, und alle zeigen, wenn auch natürlich mit gewissen von dem Werth ihrer Wellenlänge abhängigen Unterschieden, dieselben merkwürdigen physikalischen Eigenschaften der Spiegelung, Brechung, der Interferenz, Diffraction, Polarisation, aus denen geschlossen werden muss, dass in ihnen allen die schwingende Bewegung des Lichtäthers derselben Art ist. Namentlich ist zu erwähnen, dass die Erscheinungen der Interferenz, bei denen Licht durch gleichartiges Licht je nach der Länge des zurückgelegten Weges bald verstärkt, bald vernichtet wird, erweisen, dass alle diese Strahlungen in einer oscillatorischen Wellenbewegung bestehen; ferner dass die Polarisationserscheinungen, bei denen verschiedene Seiten des Strahls sich verschieden verhalten, schliessen lassen, dass die Schwingungsrichtung der bewegten Theilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Strahls sei.

Alle die genannten verschiedenen Arten von Strahlen haben eine Wirkung gemeinsam, sie erwärmen die irdischen Körper, die sie treffen, und werden dem entsprechend auch alle von unserer Haut als Wärmestrahlen empfunden.

Unser Auge empfindet dagegen nur einen Theil dieser Aetherschwingungen als Licht. Die Wellenzüge von grosser Wellenlänge, die wir den langen Wogen des Oceans vergleichen müssten, empfindet es nämlich gar nicht; wir nennen diese deshalb **dunkle strahlende Wärme**. Solche Strahlen sind es auch, die von einem heissen, aber nicht glühenden Ofen ausgehen und uns erwärmen, aber uns nicht leuchten.

Dann empfindet unser Auge die Wellenzüge kürzester Wellenlänge, die also dem kleinsten Gekräusel, was ein leichter Windhauch auf der Oberfläche eines Teiches hervorbringt, entsprechen, so ausserordentlich schwach, dass man diese Art der Strahlen ebenfalls für gewöhnlich als unsichtbar betrachtet und sie **dunkle chemische Strahlen** genannt hat.

Zwischen den zu langen und den zu kurzen Aetherwellen in der Mitte giebt es nun Wellen von mittlerer Länge, die unser Auge kräftig afficiren, aber übrigens in physikalischer Beziehung durchaus nicht wesentlich von den dunklen Wärmestrahlen und von den dunklen chemischen Strahlen unterschieden sind. Ihr Unterschied von letzteren beiden beruht nur in der verschiedenen Grösse der Wellenlängen und in den damit zusammenhängenden physikali-

Digitized by Google

schen Beziehungen. Diese mittleren Strahlen nennen wir **Licht**, weil sie allein es sind, die unserem Auge leuchten.

Wenn wir die wärmende Eigenschaft dieser Strahlen beachten, nennen wir sie auch **leuchtende Wärme**, und weil sie auf unsere Haut einen so ganz anderen Eindruck machen als auf unser Auge, hat man bis vor etwa 30 Jahren allgemein das Wärmende für eine ganz andere Art von Ausstrahlung gehalten, als das Leuchtende. Aber beides ist in den leuchtenden Sonnenstrahlen absolut dasselbe und nicht von einander zu trennen, wie die neueren sorgfältigsten physikalischen Untersuchungen zeigen. Es ist nicht möglich, man mag sie optischen Processen unterwerfen, welchen man wolle, ihre Leuchtkraft zu schwächen, ohne auch gleichzeitig und in demselben Verhältnisse ihre wärmende und ihre chemische Wirkung zu verringern. Jeder Vorgang, der die schwingende Bewegung des Aethers aufhebt, hebt eben natürlich auch alle Wirkungen dieser schwingenden Bewegung auf, das Leuchten, das Wärmen, die chemische Wirkung, die Erregung der Fluorescenz und so weiter.

Diejenigen Aetherschwingungen nun, welche unser Auge stark afficiren, und die wir Licht nennen, erregen je nach der Verschiedenheit ihrer Wellenlänge den Eindruck verschiedener Farbe. Die von grösserer Wellenlänge erscheinen uns **roth**, daran schliessen sich mit allmälig abnehmender Wellenlänge **goldgelbe**, **gelbe**, **grüne**, **blaue**, **violette**, letztere haben unter den leuchtenden die kürzeste Wellenlänge. Allbekannt ist diese Farbenreihe vom Regenbogen her; wir sehen sie, wenn wir durch ein Glasprisma nach einem Lichte blicken, ein farbenspielender Diamant wirft sie ebenfalls in dieser Reihenfolge nach verschiedenen Richtungen hin. In den genannten durchsichtigen Körpern trennt sich nämlich das verschiedenfarbige elementare Licht verschiedener Wellenlänge durch die schon im ersten Artikel erwähnte verschiedene Stärke der Brechung von einander, und so erscheint dann jedes in seiner besonderen Farbe für sich. Diese Farben der verschiedenen einfachen Lichtarten, wie sie uns am besten das von einem Glasprisma entworfene Spectrum einer schmalen Lichtlinie zeigt, sind zugleich die glänzendsten und gesättigtesten Farben, welche die Aussenwelt aufzuweisen hat.

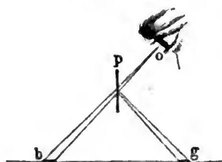
Mehrere solche Farben zusammengemischt geben den Eindruck einer neuen, meist mehr oder weniger weisslichen Farbe. Werden sie alle genau in demselben Verhältnisse, wie sie im Sonnenlichte enthalten sind, gemischt, so geben sie den Eindruck von

Digitized by Google

Weiss. Je nachdem dagegen in einem solchen Gemisch die Strahlen grösserer, mittlerer oder kleinster Wellenlänge vorherrschen, erscheint es röthlichweiss, grünlichweiss, bläulichweiss u. s. w. Jeder, der der Arbeit eines Malers zugesehen hat, weiss, dass zwei Farben mit einander gemischt eine neue Farbe geben. Wenn nun auch im Einzelnen die Resultate der Mischung farbigen Lichts von denen der Mischung von Malerfarben vielfach abweichen, so ist doch im Ganzen die Erscheinung in beiden Fällen für das Auge eine ähnliche. Wenn wir einen weissen Schirm, oder auch eine Stelle unserer Netzhaut gleichzeitig mit zweierlei verschiedenem Lichte beleuchten, sehen wir ebenfalls nur eine Farbe statt der zwei, eine Mischfarbe, mehr oder weniger verschieden von den beiden ursprünglich vorhandenen Farben.

Die auffallendste Abweichung zwischen der Mischung aus Malerfarben und der Mischung farbigen Lichtes zeigt sich darin, dass die Maler aus Gelb und Blau Grün mischen, während gelbes und blaues Licht vereinigt Weiss giebt. Die einfachste Art farbiges Licht zu mischen ist angedeutet durch Fig. 47; darin ist *p* eine kleine ebene Glasplatte, *b* und *g* sind zwei farbige Oblaten. Der Beobachter sieht *b* durch die Platte hindurch, dagegen *g* sieht er in der Platte gespiegelt; und wenn man *g* richtig legt, fällt das Spiegelbild von *g* gerade mit *b* zusammen. Man glaubt dann bei *b* eine einzige Oblate in der Mischfarbe der beiden wirklichen zu sehen. Hier vereinigt sich wirklich auf dem Wege von *p* zum Auge *o* und auf dessen Netzhaut das Licht, was von *b* kommend die Platte *p* durchdringt, mit dem was von *g* kommend an der Platte *p* gespiegelt wird.

Fig. 47.



Im Allgemeinen macht also verschiedenartiges Licht, in welchem Wellenzüge von verschiedenen Werthen der Wellenlängen enthalten sind, unserem Auge einen verschiedenen Eindruck, nämlich den verschiedener Farbe. Aber die Zahl der wahrnehmbaren Farbenunterschiede ist viel kleiner, als die der verschiedenartigen Gemische von Lichtstrahlen, welche die Aussenwelt unserem Auge zusenden kann. Die Netzhaut unterscheidet nicht das Weiss, was nur aus scharlachrothem und grünblauem Lichte zusammengesetzt ist, von dem, was aus grüngelbem und violettem, oder aus gelbem und ultramarinblauem Lichte, oder aus rothem, grünem und vio-

Digitized by Google

lettem, oder aus allen Farben des Spectrum zusammengesetzt ist. Alle diese Gemische erscheinen identisch weiss; physikalisch verhalten sie sich sehr verschieden; und es lässt sich sogar keinerlei Art von physikalischer Aehnlichkeit nachweisen, welche die genannten verschiedenen Lichtgemische haben, wenn wir von ihrer Ununterscheidbarkeit für das Auge absehen. So würde zum Beispiel eine mit Roth und Grünblau beleuchtete Fläche in einer Photographie schwarz, eine andere mit Gelbgrün und Violett beleuchtete dagegen sehr hell werden, obgleich beide Flächen dem Auge ganz gleich weiss erscheinen. Ferner wenn wir farbige Körper mit solchem verschieden zusammengesetzten weissen Lichte erleuchteten, würden sie ganz verschieden gefärbt und beleuchtet erscheinen. So oft wir durch ein Prisma dergleichen Licht zerlegten, würde seine Verschiedenheit zu Tage kommen; ebenso, so oft wir durch ein farbiges Glas darnach hinsähen.

Aehnlich wie rein weisses Licht können nun auch andere Farben, namentlich wenn sie nicht sehr gesättigt sind, aus sehr verschiedenen Mischungen verschiedenen einfachen Lichtes für das Auge ununterscheidbar zusammengesetzt werden, ohne dass dergleichen gleichaussehendes Licht in irgend einer physikalischen oder chemischen Beziehung als gleichartig zu betrachten wäre.

Das System der für das Auge unterscheidbaren Farben hat schon Newton auf eine sehr einfache Weise in ein anschauliches räumliches Bild zu bringen gelehrt, mit dessen Hilfe sich auch das Mischungsgesetz der Farben verhältnissmässig leicht ausdrücken lässt. Man denke sich nämlich längs des Umfangs eines Kreises die Reihe der reinen Spectralfarben passend vertheilt, von Roth anfangend und durch die Reihe der Regenbogenfarben in unmerklicher Abstufung in das Violett übergehend, die Verbindung zwischen Roth und Violett endlich hergestellt durch Purpurroth, welches einerseits in das mehr bläuliche Violett, andererseits in das mehr zum Gelb neigende Scharlachroth des Spectrum abgestuft werden kann. In das Centrum des Kreises werde Weiss gesetzt, und auf den Radien, die vom Mittelpunkte nach der Peripherie laufen, bringe man in allmäligen Uebergängen diejenigen Farben an, welche durch Mischung der betreffenden peripherischen gesättigten Farbe mit Weiss entstehen können. Dann zeigt ein solcher Farbenkreis alle Verschiedenheiten, welche die Farben bei gleicher Lichtstärke zeigen können.

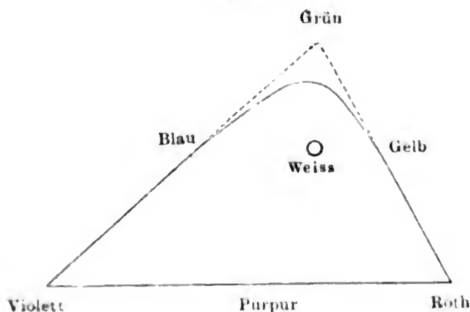
Man kann nun, wie sich erweisen lässt, in einer solchen Far-

Digitized by Google

bentafel die Vertheilung der einzelnen Farben und das Maass ihrer Lichtstärken so wählen, dass wenn man für Lichtstärken nach derselben Weise, wie für zwei ihnen proportionale Gewichte, den Schwerpunkt sucht, man die Mischfarbe jeder zwei Farben der Tafel, deren Lichtstärken gegeben sind, in dem Schwerpunkte dieser Lichtquanta findet. Das heisst also: in der richtig construirten Farbentafel findet man die Mischfarben je zweier Farben der Tafel auf der geraden Linie angeordnet, welche die Orte der beiden Farben verbindet, und die Mischfarben, welche mehr von der einen enthalten, sind dieser desto näher gelegen, je mehr sie von ihr, je weniger von der anderen Farbe enthalten.

Nur werden bei der letztgenannten Anordnung die Spectralfarben, welche die gesättigtesten Farben der Aussenwelt sind, und daher am weitesten entfernt vom mittleren Weiss am Umfange der Farbentafel stehen müssen, sich nicht in einen Kreis ordnen. Vielmehr bekommt der Umfang der Figur drei Vorsprünge im Roth, im Grün und im Violett, so dass die ganze Gestalt sich mehr einem Dreiecke mit abgerundeten Ecken nähert, wie Fig. 48 erken-

Fig. 48.



nen lässt. In dieser stellt die ausgezogene Grenzlinie die Curve der Spectralfarben dar und der kleine Kreis in der Mitte das Weiss [1]). Während an diesen Ecken selbst die genannten Farben stehen, zeigen die Seiten des Dreiecks die Uebergänge von Roth

[1]) Ich habe Violett als Grundfarbe nach den Versuchen von Herrn J. J. Müller wieder restituirt, während ich in dem ersten Abdrucke dieser Abhandlungen der Meinung von Maxwell, dass Blau die Grundfarbe sei, gefolgt war.

Digitized by Google

durch Gelb in Grün, von Grün durch Grünblau und Ultramarin blau in Violett und von Violett durch Purpurroth in Scharlach roth.

Während **Newton** die räumliche Darstellung des Farbensystems, in etwas anderer Weise geordnet, als wir sie hier beschrieben haben, nur als ein Mittel gebrauchte, eine sinnlich anschauliche Uebersicht der zusammengesetzten Thatsachen dieses Gebiete zu geben, ist es neuerdings **Maxwell** gelungen, die strenge Richtigkeit der in diesem Anschauungsbilde niedergelegten Sätze aucl in quantitativer Beziehung zu erweisen. Es gelang dies mittel der Farbenmischungen auf schnell rotirenden Kreisscheiben, dere Sectoren mit verschiedenen Farben gefärbt sind. Wenn eine solch Scheibe sehr schnell umläuft, so dass das Auge den einzelnen farbigen Sectoren nicht mehr folgen kann, verschmelzen deren Farben in eine gleichmässige Mischfarbe, und es lässt sich die Meng des Lichts, welches jeder Farbe angehört, direct durch die Breit des von ihr bedeckten Kreisausschnittes messen. Die Mischfarbe aber, welche auf solche Weise zu Stande kommen, sind genau dieselben, welche bei continuirlicher Beleuchtung derselben Fläch durch die entsprechenden Farben entstehen würden, wie sich experimentell erweisen lässt. So ist Maass und Zahl auch in das scheinbar dafür so unzugängliche Gebiet der Farben hineingetragen, un es sind dessen qualitative Unterschiede auf quantitative Verhältnisse zurückgeführt worden.

Alle Unterschiede der Farbe reduciren sich hiernach auf drei die wir bezeichnen können als die Unterschiede des **Farbentons** der **Sättigung** und der **Helligkeit**. Die Unterschiede des Farbentons sind diejenigen, welche zwischen den verschiedenen Farben des Spectrum bestehen, und die wir mit dem Namen Roth Gelb, Grün, Blau, Violett, Purpur bezeichnen. In Bezug auf den Farbenton bilden also die Farben eine in sich selbst zurücklaufende Reihe, wie wir sie erhalten, wenn wir die Endfarben des Regenbogens durch Purpurroth in einander übergehen lassen, und wie wir sie uns längs des Umfangs der Farbentafel angeordnet denken wollten. Die **Sättigung** der Farben ist am grössten in den reinen Spectralfarben (wenigstens unter den durch äusseres Licht erzeugbaren Farben; in der Empfindung des Auges ist noch eine Steigerung möglich, wie wir später sehen werden), sie wird desto geringer, je mehr Weiss sich ihnen beimischt. So ist Rosenroth gleich weisslichem Purpur, Fleischroth gleich weisslichem Scharlachroth, Blassgelb, Blassgrün, Weissblau u. s. w. sind der-

gleichen wenig gesättigte, mit Weiss gemischte Farben. Alle gemischten Farben sind in der Regel weniger gesättigt, als die einfachen Farben des Spectrum. Endlich haben wir noch die in der Farbentafel nicht dargestellten Unterschiede der Helligkeit oder der Lichtstärke. So lange wir farbiges Licht betrachten, erscheinen diese Unterschiede der Helligkeit nur als quantitativ, nicht als qualitativ. Schwarz ist da nur Dunkelheit, also einfach Mangel des Lichts. Anders ist es, wenn wir Körperfarben betrachten; Schwarz entspricht ebenso gut einer besonderen Eigenthümlichkeit einer Körperfläche in der Reflexion des Lichts, wie Weiss, und wird deshalb ebenso gut als Farbe bezeichnet, wie letzteres. Und so finden wir in der That in der Sprache noch eine ganze Reihe von Bezeichnungen für lichtschwache Farben. Wir nennen sie dunkel, wenn sie zwar lichtschwach, aber gesättigt, dagegen grau, wenn sie weisslich sind. So ist dunkelblau lichtschwaches gesättigtes Blau, graublau lichtschwaches weissliches Blau. Statt der letzteren Bezeichnung wählt man bei einigen Farben noch besondere Namen. So sind Rothbraun, Braun, Olivengrün lichtschwache, bald mehr, bald weniger gesättigte Abstufungen von Roth, Gelb und Grün.

In dieser Weise wird also für die Empfindung alle mögliche objective Verschiedenheit in der Zusammensetzung des Lichts auf nur drei Arten von Unterschieden, den des Farbentons, der Sättigung und der Helligkeit, zurückgeführt. In dieser Weise bezeichnet auch die Sprache das System der Farben. Aber wir können diesen dreifachen Unterschied auch noch anders ausdrücken.

Ich sagte oben, die richtig construirte Farbentafel nähere sich einem Dreieck in ihrer Umfangslinie. Setzen wir einen Augenblick voraus, sie sei ein wirkliches geradliniges Dreieck, wie es die punktirte Linie der Fig. 48 andeutet; über die Abweichung dieser Annahme von der Wirklichkeit werden wir uns später zu rechtfertigen haben. Es mögen die Farben Roth, Grün, Violett in den Ecken stehen. Dann ergiebt das oben aufgestellte Mischungsgesetz, dass alle Farben im Inneren und auf den Seiten des Dreiecks zu mischen sein werden aus den drei Farben an den Ecken des Dreiecks. Dann sind also alle Verschiedenheiten der Farbe darauf zurückzuführen, dass sie verschiedenen Mischungsverhältnissen von drei Grundfarben entsprechen. Als die drei Grundfarben wählt man am besten die drei oben genannten. Die älteren drei Grundfarben Roth, Gelb und Blau sind unzweckmässig, nur nach den Mischungen der Maler-

farben gewählt; man kann aus gelbem und blauem Licht kein Grü[n] zusammensetzen.

Das Eigenthümliche, was in dieser Rückführung aller Ver[-]schiedenartigkeit in der Zusammensetzung des äusseren Lichts au[f] die Mischungen aus drei Grundfarben liegt, wird anschaulicher wenn wir das Auge in dieser Beziehung mit dem Ohre vergleichen

Auch der Schall ist, wie ich vorhin schon erwähnte, eine sich wellenförmig ausbreitende schwingende Bewegung; auch beim Schalle haben wir Wellenzüge von verschiedener Wellenlänge zu unterscheiden, die unserem Ohre Empfindungen von verschiedener Qualität hervorrufen; nämlich die langen Wellenlängen hören wir als tiefe Töne, die kurzen als hohe. Auch unser Ohr kann gleichzeitig von vielen solchen Wellenzügen, das heisst von vielen Tönen getroffen werden. Aber im Ohre verschmelzen diese Töne nicht zu Mischtönen, in der Art wie gleichzeitig und an gleichem Orte empfundene Farben zu Mischfarben verschmelzen. Wir können nicht statt der beiden gleichzeitig erklingenden Töne *C* und *E* etwa *D* setzen, ohne den Eindruck auf das Ohr gänzlich zu verändern, während das Auge es nicht merkt, wenn wir statt Roth und Gelb Orange substituiren. Der zusammengesetzteste Accord eines vollen Orchesters wird auch für die Empfindung anders, wenn wir irgend einen seiner Töne mit einem oder zwei anderen vertauschen. Kein Accord ist, wenigstens für das geübte Ohr, einem anderen vollkommen gleich, der aus anderen Tönen zusammengesetzt ist. Verhielte sich das Ohr den Tönen gegenüber, wie das Auge den Farben, so würde jeder Accord durch die Zusammenstellung von nur drei constanten Tönen, einem sehr tiefen, einem mittleren, einem sehr hohen, vollständig ersetzt werden können indem man nur das Verhältniss der Stärke dieser drei Töne zu verändern hätte. Alle Musik liesse sich dann auf die Zusammensetzung von nur drei Tönen zurückführen.

Wir finden nun im Gegentheil, dass ein Accord für das Ohr nur dann unverändert bleibt, wenn die Tonstärke jedes einzelnen in ihm enthaltenen Tons unverändert bleibt. Sollte er also genau und vollständig charakterisirt werden, so müsste die Tonstärke von allen seinen einzelnen Tönen genau bestimmt werden. Ebenso kann die physikalische Natur einer Lichtart vollständig nur dadurch bestimmt werden, dass man die Lichtstärke aller der einzelnen einfachen Farben, die es enthält, misst und bestimmt. Im Lichte der Sonne, der meisten Sterne und Flammen finden wir aber einen continuirlichen Uebergang der Farben in einander durch

Digitized by Google

unzählbare Zwischenstufen. Zur genauen physikalischen Charakterisirung solchen Lichtes müssten wir also die Lichtintensitäten unendlich vieler Elemente bestimmen. In der Empfindung unseres Auges unterscheiden wir dafür nur die wechselnden Intensitäten dreier Elemente.

Der geübte Musiker ist im Stande, aus den zusammengesetzten Accorden eines ganzen Orchesters die einzelnen Noten der verschiedenen Instrumente unmittelbar herauszuhören. Der Physiker kann die Zusammensetzung des Lichts nicht unmittelbar mit dem Auge erkennen, sondern er muss sein Organ mit dem Prisma bewaffnen, welches ihm das Licht zerlegt. Dann aber tritt die Verschiedenheit des Lichtes hervor, und er unterscheidet nach den dunklen und hellen Linien, die das Spectrum ihm zeigt, das Licht der einzelnen Fixsterne von einander, und erkennt, welche chemische Elemente in irdischen Flammen oder in den glühenden Atmosphären der Sonne, der Fixsterne, der Nebelflecke enthalten sind. Eben darauf, dass das Licht jeder besonderen Lichtquelle in seiner Mischung gewisse unvertilgbare physikalische Eigenthümlichkeiten hat, beruht die Spectralanalyse, diese glänzendste Entdeckung der letzten Jahre, welche der chemischen Analyse die äussersten Fernen der Himmelsräume zugänglich gemacht hat.

Aeusserst interessant ist nun das gar nicht seltene Vorkommen solcher Augen, welche die Farbenunterschiede auf ein noch einfacheres System reduciren, nämlich auf die Mischungen aus nur zwei Grundfarben. Man nennt solche Augen farbenblind, weil sie Farben verwechseln, die den gewöhnlichen Augen sehr verschieden aussehen. Andere Farben dagegen unterscheiden sie, und zwar ebenso bestimmt, und wie es scheint, sogar noch etwas feiner als die normalen Augen. Gewöhnlich sind sie rothblind; das heisst in ihrem Farbensystem fehlt das Roth und alle Unterschiede, die zwischen verschiedenen Farben durch die Einmischung des Roths hervorgebracht werden. Alle Farbenunterschiede sind ihnen Unterschiede von Blau und Grün, oder wie sie es nennen, Gelb. Also scheint ihnen Scharlachroth, Fleischroth, Weiss und Grünblau identisch zu sein, oder höchstens in der Helligkeit verschieden, ebenso Purpurroth, Violett und Blau, ebenso Roth, Orange, Gelb, Grün. Die scharlachrothen Blüthen des Geranium haben ihnen genau denselben Farbenton, wie die Blätter derselben Pflanze; sie können die rothen und grünen Signallaternen der Eisenbahnen nicht unterscheiden. Das rothe Ende des Spectrum sehen sie nicht, sehr gesättigtes Scharlachroth erscheint ihnen fast schwarz,

Digitized by Google

so dass sich zum Beispiel ein rothblinder schottischer Geistliche verleiten liess, scharlachrothes Tuch zum Talare auszusuchen, wei er es für schwarz hielt.

Ja wir stossen auch in diesem Gebiete wieder auf sonderbar Ungleichheiten des Feldes der Netzhaut. Erstens ist jeder Mensc am äussersten Rande seines Gesichtsfeldes rothblind. Eine Geraniumblüthe, die man am Rande des Gesichtsfeldes hin- und her bewegt, erkennt man als beweglichen Gegenstand, aber man erkennt nicht ihre Farbe, und vor einer Blättermasse derselbe Pflanze hin- und herbewegt, unterscheidet sie sich im Ansehen nich von dem Grün der Blätter. Ueberhaupt erscheint alles Roth i indirectem Sehen viel dunkler. Am breitesten ist dieser rothblind Theil an der Nasenseite des Gesichtsfeldes, und nach neuen Untersuchungen von Herrn Woinow giebt es am äussersten Rande de sichtbaren Feldes sogar eine schmale Zone, in der aller Farbenunterschied fehlt, und nur die Unterschiede der Helligkeit bestehen bleiben. In dieser äussersten Zone sieht alles weiss, gra oder schwarz aus; wahrscheinlich sind es die grünempfindende Fasern allein, die hier übrig sind.

Zweitens ist die Mitte der Netzhaut, wie ich schon erwähnte rings um die Centralgrube gelb gefärbt, dadurch wird alles Bla gerade in der Mitte des Gesichtsfeldes etwas dunkler. Das fäll namentlich bei Mischungen von Roth und Blaugrün auf, die, wen sie direct betrachtet, weiss erscheinen, schon in geringer Entfernung von der Mitte des Gesichtsfeldes überwiegendes Blau zeige und umgekehrt, wenn sie hier weiss erscheinen, direct betrachte roth sind.

Auch diese Ungleichheiten des Feldes gleichen sich durch di fortdauernde Bewegung des Blickes aus. Wir wissen bei den gewöhnlich vorkommenden weisslichen oder matten Farben der Aussenwelt schon, welche Eindrücke des indirecten Sehens andere des directen Sehens entsprechen und beurtheilen deshalb die Körperfarben gleich nach dem Eindruck, den sie uns im directen Sehen machen würden. Es gehören wieder ungewöhnlichere Farbenmischungen oder besondere Richtung der Aufmerksamkeit daz um uns den Unterschied erkennen zu lassen.

Die Farbentheorie mit allen diesen wunderlichen und verwickelten Verhältnissen war eine Nuss, an deren Eröffnun nicht nur unser grosser Dichter vergebens gearbeitet hat, sondern auch wir Physiker und Physiologen; ich schliesse mic hier ein, weil ich selbst mich lange Zeit damit abgemüht habe

Digitized by Google

ohne eigentlich dem Ziele näher zu kommen, bis ich endlich entdeckte, dass eine überraschend einfache Lösung des Räthsels schon im Anfange dieses Jahrhunderts gefunden und längst gedruckt zu lesen war. Sie war gefunden und gegeben von demselben Thomas Young, der auch dem Räthsel der ägyptischen Hieroglyphen gegenüber die erste richtige Spur zur Entzifferung fand. Er war einer der scharfsinnigsten Männer, die je gelebt haben, hatte aber das Unglück, seinen Zeitgenossen an Scharfsinn zu weit überlegen zu sein. Sie staunten ihn an, aber konnten dem kühnen Fluge seiner Combinationen nicht überall folgen, und so blieben eine Fülle seiner wichtigsten Gedanken in den grossen Folianten der königlichen Gesellschaft von London vergraben und vergessen, bis eine spätere Generation in langsamem Fortschritte seine Entdeckungen wieder entdeckte, und sich von der Richtigkeit und Beweiskraft seiner Schlüsse überzeugte.

Indem ich hier die von ihm hingestellte Farbentheorie auseinander setze, bitte ich den Leser noch zu bemerken, dass die später zu ziehenden Schlüsse über das Wesen der Gesichtsempfindungen von dem Hypothetischen in dieser Theorie ganz unabhängig sind.

Thomas Young setzt voraus, dass es im Auge dreierlei Arten von Nervenfasern gebe, wovon die einen, wenn sie in irgend einer Weise gereizt werden, die Empfindung des Roth hervorbringen, die zweiten die Empfindung des Grün, die dritten die des Violett. Er nimmt weiter an, dass die ersteren durch die leuchtenden Aetherschwingungen von grösserer Wellenlänge verhältnissmässig am stärksten erregt werden, die grünempfindenden durch die Wellen mittlerer Länge, die violettempfindenden durch das Licht kleinster Wellenlänge. So würde am rothen Ende des Spectrum die Erregung der rothempfindenden Strahlen überwiegen, und eben daher dieser Theil uns roth erscheinen; weiterhin würde sich eine merkliche Erregung der grünempfindenden Nerven hinzugesellen, und dadurch die gemischte Empfindung des Gelb entstehen. In der Mitte des Spectrum würde die Erregung der grünempfindenden Nerven die der beiden anderen stark überwiegen, daher die Empfindung des Grün herrschen. Wo diese sich dagegen mit der des Violett mischt, entsteht Blau; am brechbarsten Ende des Spectrum überwiegt die Empfindung des Violett[1]).

[1]) Der Farbenton der drei Grundfarben lässt sich empirisch noch nicht ganz genau feststellen; den Eindruck der grössten Farbensättigung machen die drei oben genannten Farben des Spectrum. Ebenso hat Th. Young

Digitized by Google

Man sieht, dass diese Annahme nichts weiter ist, als eine noc weitere Specialisirung des Gesetzes von den specifischen Sinnes energien. Eben so gut, wie nachweisbar die Verschiedenheit de Licht- und Wärmeempfindung nur darauf beruht, ob die Sonnen strahlen die Ausbreitung der Sehnerven oder der Tastnerven tre fen, so wird in der Young'schen Hypothese vorausgesetzt, das die Verschiedenheit der Farbenempfindung nur darauf beruht, o die eine oder andere Nervenart relativ stärker afficirt wird. Gleich mässige Erregung aller drei giebt die Empfindung von Weiss.

Bei rothblinden Augen würden die Erscheinungen darauf zu rückzuführen sein, dass die eine Art der Nerven, die rothempfin denden, nicht erregungsfähig ist. Am Rande der Netzhaut jede normalen Auges fehlen wahrscheinlich die rothempfindenden Fa sern oder sind wenigstens sehr sparsam.

Nun fehlt bei Menschen und Säugethieren allerdings noc jedes anatomische Substrat, welches man mit dieser Farbentheori in Beziehung setzen könnte. Dagegen hat Max Schultze ein offenbar hierher gehörige Structur bei den Vögeln und Reptilie gefunden. In den Augen vieler dieser Thiere findet sich nämlic eine Anzahl von Stäbchen in der Stäbchenschicht der Netzhau die an ihrem vorderen, dem einfallenden Lichte zugekehrten End einen rothen Oeltropfen enthalten, andere Stäbchen enthalten eine gelben Tropfen, andere gar keinen. Nun ist es unzweifelhaft, das rothes Licht zu den Stäbchen mit rothem Tropfen einen viel bes seren Zugang finden wird, als Licht von anderer Farbe; gelbe und grünes Licht dagegen wird zu den Stäbchen mit gelben Tro pfen relativ am besten zugelassen. Blaues wird von beiden ziem lich vollständig ausgeschlossen sein, dagegen die farblosen Stäb chen um so stärker afficiren. So dürfen wir mit grosser Wahr scheinlichkeit in diesen Stäbchen die Endorgane der rothempfin denden, gelbempfindenden und blauempfindenden Nerven suchen

Eine ganz ähnliche Hypothese habe ich dann später äusserst geeignet und fruchtbar gefunden, um ebenso räthselhafte Eigen thümlichkeiten, welche sich bei der Wahrnehmung musikalischer Töne zeigen, höchst einfach zu erklären, nämlich die Annahme dass in der sogenannten Schnecke des Ohres, wo die Enden der

---

für die Grundfarbe des brechbareren Endes Violett gewählt, Maxwel hält Blau für wahrscheinlicher; eine sichere Entscheidung ist noch nich zu geben. Nach Herrn J. J. Müller's Versuchen (Archiv für Ophthal mologie XV, 2. S. 208) ist Violett wahrscheinlicher. Die Fluorescenz de Netzhaut macht hier Schwierigkeiten.

Digitized by Google

Nervenfasern neben einander regelmässig ausgebreitet liegen und mit kleinen elastischen Anhängseln, den Corti'schen Bögen, versehen sind, die regelmässig wie die Tasten und Hämmer eines Klaviers neben einander geordnet sind, dass, sage ich, hier jede einzelne Nervenfaser zur Wahrnehmung einer bestimmten Tonhöhe befähigt sei, für die ihr elastisches Anhängsel am stärksten in Mitschwingungen komme. Es ist hier nicht der Raum, um auf die besonderen Charaktere der Tonempfindungen einzugehen, welche mich zur Aufstellung einer solchen Hypothese veranlassten, deren Analogie mit Young's Farbentheorie in die Augen springt, und die die Entstehung der Obertöne, der Schwebungen, die Wahrnehmung der Klangfarben, den Unterschied von Consonanz und Dissonanz, die Bildung der musikalischen Scala u. s. w. auf ein ebenso einfaches Princip zurückführt, wie das von Young's Farbentheorie ist. Im Ohre aber war eine viel deutlicher ausgebildete anatomische Grundlage für eine solche Hypothese nachweisbar; und seitdem ist es auch, zwar nicht am Menschen und Wirbelthieren, wo das Gehörlabyrinth zu versteckt liegt, wohl aber an Meerescrustaceen gelungen, ein solches Verhalten direct zu erweisen. Diese haben nämlich äusserliche Anhängsel an ihrem Gehörorgan, die man am unverletzten Thiere beobachten kann, gegliederte Härchen, zu denen Nervenfasern des Hörnerven hintreten, und hier überzeugte sich Herr Hensen in Kiel, dass in der That einzelne Härchen durch einzelne Töne in Schwingung versetzt wurden, andere durch andere.

Noch einen Anstoss gegen Young's Farbentheorie müssen wir beseitigen. Ich erwähnte oben, dass bei der räumlichen Darstellung des Farbensystems in der Farbentafel die Umfangslinie dieser Tafel, welche die gesättigtesten Farben, nämlich die des Spectrum, enthält, sich einem Dreieck annähere. Unsere Schlüsse über die Theorie der drei Grundfarben beruhen aber darauf, dass ein geradliniges Dreieck das ganze System der Farben umfasse, denn nur dann sind sie alle aus den drei in den Ecken des Dreiecks stehenden Grundfarben zu mischen. Aber wohlgemerkt! die Farbentafel umfasst sämmtliche in der Aussenwelt vorkommende Farben, und in der genannten Theorie handelt es sich um die Zusammensetzung von Empfindungen. Wir brauchen nur anzunehmen, dass die objectiven farbigen Lichter noch nicht die vollkommen reinen Farbenempfindungen hervorrufen, dass also rothes einfaches Licht, auch wenn es vollständig von allem weissen Lichte gereinigt ist, doch nicht allein die rothempfindenden Fasern er-

Digitized by Google

rege, sondern, wenn auch schwach, ebenfalls die grünempfindenden und vielleicht noch schwächer die violettempfindenden. Dann wäre die Empfindung, welche reinstes rothes Licht im Auge hervorruft, noch nicht die reinste Rothempfindung; die letztere müsste ein noch gesättigteres Roth darstellen, als wir an irgend einer Farbe der Aussenwelt anschauen können.

Diese Folgerung lässt sich bewahrheiten; eine solche gesättigtere Rothempfindung lässt sich erzeugen. Diese Thatsache ist nicht nur als Beseitigung eines möglichen Einwandes gegen Young's Theorie, sie ist auch für die Bedeutung der Farbenempfindungen überhaupt, wie man leicht einsieht, von grösster Wichtigkeit. Um das Verfahren zu beschreiben, muss ich auf eine neue Reihe von Erscheinungen eingehen.

Jeder Nervenapparat ermüdet, wenn er in Thätigkeit erhalten wird, um so mehr, je lebhafter diese ist, und je länger sie dauert. Unablässig ist dagegen auch das hellrothe, durch die Arterien strömende Blut thätig, um das verbrauchte Material durch neues zu ersetzen und die durch die Thätigkeit erzeugten Veränderungen, d. h. die Ermüdung zu beseitigen. Dasselbe geschieht im Auge. Wird die ganze Netzhaut in ganzer Ausdehnung ermüdet, — wenn wir zum Beispiel eine Weile im Freien unter grellem Sonnenschein verweilten, — so ist sie für schwächeres Licht überhaupt unempfindlich geworden. Treten wir alsdann unmittelbar in einen dunklen, schwach beleuchteten Raum, so sehen wir anfangs gar nichts, wir sind durch die vorausgegangene Helligkeit geblendet, wie wir es nennen. Nach einiger Zeit erholt sich das Auge, und wir können schliesslich bei derselben schwachen Beleuchtung, die uns anfangs absolutes Dunkel schien, sehen, selbst lesen.

So äussert sich die allgemeine Ermüdung der Netzhaut; es ist aber auch eine Ermüdung einzelner Theile der Netzhaut möglich, wenn nur eine einzelne Stelle derselben längere Zeit hindurch von starkem Lichte getroffen worden ist. Fixiren wir irgend einen hellen Gegenstand, der von dunklem Grunde umgeben ist, längere Zeit, indem wir unverrückt einen Punkt mit dem Blick fixiren, — das ist nämlich nöthig, damit das helle Bild auf der Netzhaut still liege, und einen scharf begrenzten Theil ihrer Fläche ermüde, — und blicken wir nachher auf einen gleichmässigen dunkelgrauen Grund, so sehen wir auf diesem ein Nachbild des vorher gesehenen Objects in denselben Umrissen gezeichnet, aber in der Beleuchtung entgegengesetzt, das Dunkle hell, das Helle dunkel abgebildet, ähnlich den ersten negativen Bildern beim

Digitized by Google

Photographiren. Durch sorgfältiges Fixiren kann man sehr fein gezeichnete Nachbilder entwickeln, in denen man unter Umständen sogar noch Buchstaben lesen kann. Hier entsteht das Nachbild durch locale Ermüdung; die Theile der Netzhaut, die vorher hell gesehen hatten, empfinden das Licht des grauen Grundes nun schwächer, als ihre nicht ermüdeten Nachbarn; und so weit also früher die Netzhaut von Licht getroffen war, so weit erscheint jetzt ein dunkler Fleck auf dem in Wirklichkeit gleichmässigen Grunde.

Ich bemerke dabei, dass helle gut beleuchtete weisse Papierblätter hinreichend helle Objecte zur Entwickelung des Nachbildes sind; blickt man nach sehr viel helleren Objecten, Flammen oder gar der Sonne, so mischt sich im Anfang noch die nicht sogleich verschwindende Erregung, welche ein positives Nachbild erzeugt, mit der Wirkung der Ermüdung, dem negativen Nachbilde; ausserdem wirken die verschiedenen Farben des weissen Lichts verschieden lange und verschieden stark. Dadurch werden die Nachbilder farbig, die Erscheinungen überhaupt viel verwickelter.

Mittels der Nachbilder überzeugt man sich leicht, dass der Eindruck einer lichten Fläche schon von den ersten Secunden an abzunehmen anfängt; nach einer Minute schon meist auf die Hälfte oder ein Viertel seiner Intensität gesunken ist. Die einfachste Form des Versuches für diesen Zweck ist, dass man mit einem schwarzen Papier ein weisses Blatt halb zudeckt, irgend ein Pünktchen des weissen Blatts nahe am Rande des schwarzen fest fixirt, und nach 30 bis 60 Secunden das schwarze Blatt schnell fortzieht, ohne den Blick zu verwenden. Dann tritt plötzlich unter dem Schwarz der Eindruck des Weiss in seiner ersten glänzenden Frische hervor, und man erkennt nun, in wie hohem Grade der ältere Eindruck abgestumpft und geschwächt ist, trotz der kurzen Zeit, während der das Weiss gewirkt hat. Und doch, was wohl zu bemerken ist, hat der Beschauer von dieser so starken Abnahme der scheinbaren Helligkeit nichts gemerkt, während er das Weiss betrachtete.

Endlich ist noch in anderer Beziehung eine partielle Ermüdung möglich, nämlich eine Ermüdung für einzelne Farben, wenn man nämlich entweder die ganze Netzhaut oder eine einzelne Stelle derselben während einiger Zeit (d. h. einer halben bis fünf Minuten) der Beleuchtung durch eine und dieselbe Farbe aussetzt. Nach Young's Theorie werden dadurch natürlich nur eine oder

Digitized by Google

zwei Arten der lichtempfindenden Nerven ermüdet, die, welche die betreffende Farbe stark empfinden. Die anderen nicht erregten Nerven bleiben unermüdet. Der Erfolg ist, dass wenn man das Nachbild zum Beispiel von Roth auf grauem Grunde betrachtet, das gleichmässig gemischte Licht dieses Grundes in der für Roth ermüdeten Netzhautstelle nur noch die Empfindungen des Grün und Violett stark hervorrufen kann. Die durch Roth ermüdete Stelle ist vorübergehend gleichsam rothblind geworden. Ihr Nachbild erscheint also blaugrün, complementär gefärbt zum Roth.

Hier bietet sich uns nun das Mittel dar, um die reinen gesättigten Urempfindungen der Farben wirklich in unserer Netzhaut hervorzurufen. Wollen wir zum Beispiel das reine Roth sehen, so ermüden wir einen Theil unserer Netzhaut durch Blaugrün des Spectrum, welches Complementärfarbe des Roth ist. Wir machen dadurch diesen Theil unserer Netzhaut gleichzeitig grünblind und violettblind. Nun entwerfen wir das Nachbild auf das Roth eines möglichst gereinigten prismatischen Spectrum. Dasselbe erscheint alsdann in brennend gesättigtem Roth, und das Roth des Spectrum in seiner Umgebung, welches doch das reinste Roth ist, das die Aussenwelt aufzuweisen hat, erscheint der unermüdeten Netzhaut jetzt weniger gesättigt, als das Roth im Netzhautbilde, und wie von einem weisslichen Nebel übergossen.

Es möge genügen an den vorgebrachten Thatsachen; ich möchte nicht weitere Einzelheiten häufen, wobei weitläuftige Beschreibungen vieler einzelnen Versuche doch nicht zu umgehen wären.

Ist es diesen Thatsachen gegenüber nun noch möglich die uns freilich natürlich einwohnende Voraussetzung festzuhalten, dass die Qualität unserer Empfindungen, speciell der Gesichtsempfindungen, ein treues Abbild sei von entsprechenden Qualitäten der Aussendinge? Offenbar nicht. Die Hauptentscheidung ist schon gegeben durch das von J. Müller aus den Thatsachen hergeleitete Gesetz von den specifischen Sinnesenergien. Ob die Sonnenstrahlen uns als Farbe oder Wärme erscheinen, hängt gar nicht ab von ihrer eigenen inneren Beschaffenheit, sondern davon, ob sie Sehnervenfasern erregen oder Hautnervenfasern. Ein Druck auf den Augapfel, ein schwacher elektrischer Strom durch denselben, ein Narcoticum, im Blute verbreitet, können ebenso gut als Licht empfunden werden, wie die Sonnenstrahlen. Der eingreifendste Unterschied, den die verschiedenen Empfindungen darbieten, nämlich der Unterschied zwischen Gesichts-, Gehörs-, Geschmacks-,

Digitized by Google

Geruchs- oder Tastempfindungen, dieser so tief einschneidende Unterschied, welcher macht, dass die Farben- und Tonempfindungen gar nicht einmal eine Beziehung der Aehnlichkeit oder Unähnlichkeit mit einander haben, hängt, wie wir sehen, gar nicht von der Natur des äusseren Objects, sondern nur von den centralen Verbindungen des getroffenen Nerven ab. Daneben erscheint nun die Frage, ob innerhalb des Qualitätenkreises jedes einzelnen Sinnes noch eine Uebereinstimmung zwischen Objectivem und Subjectivem zu entdecken sei, als eine untergeordnete. In welcher Farbe Aetherwellenzüge von uns gesehen werden, wenn sie den Sehnerven in Erregung versetzen, das hängt allerdings von den Werthen ihrer Wellenlängen ab. Das System der natürlich sichtbaren Farben lässt uns noch eine Reihe von Unterschieden der Lichtmischungen verschiedener Art erkennen. Aber die Zahl dieser Verschiedenheiten ist ausserordentlich reducirt, von einer unendlich grossen Zahl auf drei. Da die wichtigste Fähigkeit des Auges in seiner feinen Raumunterscheidung besteht, und es für diesen Zweck so viel feiner, als das Ohr, organisirt ist, so können wir uns wohl daran genügen lassen, dass das Auge überhaupt noch einige, wenn auch verhältnissmässig wenige qualitative Unterschiede des Lichtes wahrnimmt. Dem Ohre, welches in letzterer Beziehung so ausserordentlich viel reicher ausgestattet ist, geht dafür auch die Raumunterscheidung fast ganz ab. Aber erstaunen müssen wir wohl, so lange wir nämlich auf dem Standpunkt des natürlichen, seinen Sinnen unbedingt vertrauenden Menschen stehen bleiben, dass weder die Grenzen, innerhalb deren das Spectrum unser Auge afficirt, noch die Farbenunterschiede, welche in der Empfindung als vereinfachter Ausdruck der objectiven Unterschiede der Lichtarten stehen geblieben sind, irgend eine andere nachweisbare Bedeutung haben, als die für das Sehen allein. Gleich aussehendes Licht kann in allen anderen bekannten physikalischen und chemischen Wirkungen vollkommen verschieden sein.

Endlich finden wir, dass die reinen einfachen Elemente unserer Farbenempfindung, die Empfindungen der reinen Grundfarben im natürlichen unermüdeten Zustande des Auges ohne künstliche Vorbereitung desselben durch gar keine Art äusseren Lichts hervorgerufen werden können, dass sie nur als subjective Erscheinungen überhaupt bestehen.

Von der Uebereinstimmung zwischen der Qualität des äusseren Lichts und der der Empfindung bleibt also nur eines stehen, welches zunächst vielleicht dürftig genug erscheinen mag, in der

Digitized by Google

That aber zu einer zahllosen Menge der nützlichsten Anwendungen vollkommen genügt: „Gleiches Licht erregt unter gleichen Umständen die gleiche Farbenempfindung. Licht, welches unter gleichen Umständen ungleiche Farbenempfindung erregt, ist ungleich."

Wenn zwei Verhältnisse sich in dieser Weise einander entsprechen, so ist das eine ein Zeichen für das andere. Dass man den Begriff des Zeichens und des Bildes bisher in der Lehre von den Wahrnehmungen nicht sorgfältig genug getrennt hat, scheint mir der Grund unzähliger Irrungen und falscher Theorien gewesen zu sein.

In einem Bilde muss die Abbildung dem Abgebildeten gleichartig sein; nur so weit sie gleichartig ist, ist sie Bild. Eine Statue ist Bild eines Menschen, insofern sie dessen Körperform durch ihre eigene Körperform nachahmt. Auch wenn sie in reducirtem Maassstabe ausgeführt ist, wird immer Raumgrösse durch Raumgrösse dargestellt.

Ein Gemälde ist Bild des Originals, theils weil es die Farben des letzteren durch ähnliche Farben, theils weil es einen Theil der Raumverhältnisse desselben, nämlich die der perspectivischen Projection, durch entsprechende Raumverhältnisse nachahmt.

Die Nervenerregungen in unserem Hirn und die Vorstellungen in unserem Bewusstsein können Bilder der Vorgänge in der Aussenwelt sein, insofern erstere durch ihre Zeitfolge die Zeitfolge der letzteren nachahmen, insofern sie Gleichheit der Objecte durch Gleichheit der Zeichen, und daher auch gesetzliche Ordnung durch gesetzliche Ordnung darstellen.

Dies genügt offenbar für die Aufgaben unseres Verstandes, der aus dem bunten Wechsel der Welt das Gleichbleibende herauszufinden und als Begriff oder Gesetz zusammenzufassen hat. Dass es auch genügt für alle praktischen Zwecke, wird die dritte Abtheilung unseres Berichtes lehren.

Aber es ist nicht zu verkennen, dass nicht nur ungebildete Personen, die ihren Sinnen blind zu vertrauen gewöhnt sind, sondern selbst Gebildete, welche wissen, dass Sinnestäuschungen vorkommen, an einem so völligen Mangel einer näheren Uebereinstimmung zwischen den Qualitäten der Empfindung und denen der Objecte Anstoss zu nehmen geneigt sind. Haben ja doch selbst die Physiker lange gezögert und alle möglichen Einwendungen gemacht und erschöpft, ehe sie die Identität der Licht- und Wärme-

Digitized by Google

strahlen zugaben, deren wesentliche Verschiedenheit sich in der Empfindung von Licht und Wärme zu offenbaren schien. Ist doch selbst Goethe, wie ich an einem anderen Orte zu zeigen mich bemüht habe, in den Widerspruch gegen Newton's Farbenlehre wesentlich deshalb hineingetrieben worden, weil er sich nicht denken konnte, dass das Weiss, in der Empfindung als die reinste Darstellung des hellsten Lichtes erscheinend, aus dem dunkleren Farbigen zusammengesetzt sei. Es war jene von Newton gefundene Thatsache der erste Keim der neueren Lehre von den Sinnesenergien; auch sind bei seinem Zeitgenossen John Locke die wesentlichen Sätze über die Bedeutung der sinnlich wahrnehmbaren Qualitäten vollkommen richtig hingestellt. So deutlich man aber auch herausfühlt, dass hier für eine grosse Anzahl von Menschen der Stein des Anstosses liegt, so finde ich doch die gegnerische Meinung nirgends klar formulirt und so deutlich ausgesprochen, dass sich das Irrige in derselben bestimmt greifen liesse. Der Grund hiervon scheint mir darin zu liegen, dass sich dahinter noch tiefere begriffliche Gegensätze verstecken.

Man muss sich nur nicht verleiten lassen, die Begriffe von Erscheinung und Schein zu verwechseln. Die Körperfarben sind die Erscheinung gewisser objectiver Unterschiede in der Beschaffenheit der Körper; sie sind also auch der naturwissenschaftlichen Ansicht nach kein leerer Schein, wenn auch die Art, wie sie erscheinen, vorzugsweise von der Beschaffenheit unseres Nervenapparates abhängt. Ein täuschender Schein tritt nur da ein, wo die normale Erscheinungsweise eines Objects mit der eines anderen vertauscht wird. Dies aber tritt beim Farbensehen keineswegs ein; es giebt keine andere Erscheinungsweise derselben, die wir der im Auge gegenüber als die normale bezeichnen könnten.

Die Hauptschwierigkeit liegt hier im Begriffe der Eigenschaft, wie mir scheint. Aller Anstoss verschwindet, sobald man sich klar macht, dass überhaupt jede Eigenschaft oder Qualität eines Dinges in Wirklichkeit nichts Anderes ist, als die Fähigkeit desselben, auf andere Dinge gewisse Wirkungen auszuüben. Die Wirkung geschieht entweder zwischen den gleichartigen Theilchen desselben Körpers, wovon die Verschiedenheiten des Aggregatzustandes abhängen, oder wie die chemischen Reactionen von einem auf den anderen Körper, oder sie geschieht auf unsere Sinnesorgane und äussert sich dann durch Empfindungen, wie die, mit denen wir es hier zu thun haben. Eine solche Wirkung nennen wir Eigenschaft, wenn wir das Reagens, an dem sie sich

Digitized by Google

äussert, als selbstverständlich im Sinne behalten, ohne es zu nennen. So sprechen wir von der Löslichkeit einer Substanz, das ist ihr Verhalten gegen Wasser; wir sprechen von ihrer Schwere, das ist ihre Anziehung gegen die Erde; und ebenso nennen wir sie mit demselben Rechte blau, indem dabei als selbstverständlich vorausgesetzt wird, dass es sich nur darum handelt, ihre Wirkung auf ein normales Auge zu bezeichnen.

Wenn aber, was wir Eigenschaft nennen, immer eine Beziehung zwischen zwei Dingen betrifft, so kann eine solche Wirkung natürlich nie allein von der Natur des einen Wirkenden abhängen, sondern sie besteht überhaupt nur in Beziehung auf und hängt ab von der Natur eines Zweiten, auf welches gewirkt wird. Es hat also gar keinen reellen Sinn, von Eigenschaften des Lichts reden zu wollen, die ihm an und für sich zukämen, unabhängig von allen anderen Objecten, und die in der Empfindung des Auges wieder dargestellt werden sollten. Der Begriff solcher Eigenschaften ist ein Widerspruch in sich, es kann solche überhaupt gar nicht geben; und es kann deshalb auch nicht die Uebereinstimmung der Farbenempfindungen mit solchen Qualitäten des Lichts verlangt werden.

Natürlich haben sich diese Ueberlegungen schon längst denkenden Köpfen aufgedrängt; man findet sie bei Locke und Herbart deutlich ausgesprochen, sie sind durchaus im Sinne von Kant. Sie erforderten aber früher vielleicht eine grosse Abstractionskraft, um verstanden und eingesehen zu werden, während sie jetzt durch die Thatsachen, die wir dargelegt haben, auf das Anschaulichste illustrirt werden.

Nach dieser Abschweifung in die Welt des Abstracten kehren wir noch einmal zur bunten Pracht der Farben zurück, und untersuchen sie in ihrer Eigenschaft als sinnliche Zeichen gewisser äusserer Qualitäten, sei es des Lichts, sei es der Körper, die es zurückwerfen. Die wesentliche Forderung an ein gutes Zeichen ist seine Constanz, dass das gleiche Object immer das gleiche Zeichen mit sich führt. Nun haben wir schon gesehen, dass auch in dieser Beziehung die Farbenempfindungen Einiges zu wünschen übrig lassen. Sie sind nicht ganz gleichmässig im Felde der Netzhaut; aber hier hilft die ewige Bewegung unseres Blickes in derselben Weise über die Klippe des Anstosses hinweg, wie sie es betreffs der ungleichmässigen Schärfe des Netzhautbildes thut. Durch diese besondere Art der Beobachtung gleichen wir auch diesen Fehler des Organs aus.

Digitized by Google

Dann haben wir gesehen, dass durch Ermüdung des Auges die Intensität der Erregung schnell sehr bedeutende Abänderungen erleiden kann. Auch hier hilft die fortdauernde Bewegung des Blicks dazu, dass die Ermüdung der Regel nach über das ganze Feld der Netzhaut die gleiche ist, und dass sich abgegrenzte Nachbilder selten bilden können; höchstens einmal von sehr hellen Objecten, wie die Sonnenscheibe oder sehr helle Flammen sind.

Bei gleichmässiger Ermüdung der ganzen Netzhaut bleibt aber wenigstens das gegenseitige Verhältniss der Helligkeit und Farbe der verschiedenen vor uns befindlichen Gegenstände nahezu unverändert, und die Ermüdung wirkt nur so, als würde allmälig die Beleuchtung schwächer.

Dies führt uns nun auf die Unterschiede unserer Gesichtsbilder, die von der verschiedenen Beleuchtung der vor uns liegenden Objecte abhängen.

Hier treffen wir wieder auf lehrreiche Thatsachen. Wir erblicken die Objecte der Aussenwelt unter Beleuchtung der verschiedensten Helligkeit, vom grellsten Sonnenschein bis zum Mondschein abgestuft, — jener ist 150,000 Mal heller als Vollmondschein. Auch die Farbe der Beleuchtung kann sich merklich ändern, sei es, dass wir künstliche Beleuchtung anwenden durch Flammen, die immer mehr oder weniger rothgelbes Licht geben, sei es, dass wir uns unter dem grünlichen Schatten eines Laubdachs oder in einem Zimmer mit stark gefärbten Tapeten und Fenstervorhängen befinden. Mit der Helligkeit und Farbe der Beleuchtung ändert sich natürlich auch Helligkeit und Farbe der Lichtmenge, welche die beleuchteten Körper in unser Auge senden. Alle Verschiedenheit der Körperfarbe beruht nämlich darauf, dass die verschiedenen Körper verschieden grosse Antheile der verschiedenen einfachen Strahlungen der Sonne theils zurückwerfen, theils verschlucken. Zinnober wirft die Strahlen grosser Wellenlänge zurück, ohne sie merklich zu schwächen, von allen übrigen Strahlen dagegen sehr wenig. Daher erscheint er in der Farbe jener Strahlen, die er allein zurückwirft und in das Auge sendet, roth. Beleuchten wir ihn mit andersfarbigem Licht, welches kein Roth enthält, so erscheint er fast schwarz.

Somit ergiebt sich leicht, und wird ja auch durch die tägliche Erfahrung in hundertfältigen Variationen bestätigt, dass sich die scheinbare Farbe und Helligkeit der beleuchteten Körper mit der Farbe und Helligkeit der Beleuchtung ändert. Es ist dies ein

Digitized by Google

Hauptgegenstand des Studiums für die Maler; viele ihrer schönsten Effecte beruhen darauf.

Was uns aber beim Sehen hauptsächlich interessirt, ist die uns umgebenden Körper zu erkennen und wiederzuerkennen; nur selten, höchstens aus ästhetischen oder physikalischen Rücksichten, wenden wir wohl auch einmal unsere Aufmerksamkeit der Beleuchtung zu. Was aber in der Farbe eines Körpers constant ist, das ist nicht die Helligkeit und Farbe des von ihm in unser Auge gesendeten Lichts, sondern das Verhältniss zwischen den Intensitäten der verschiedenfarbigen einfachen Bestandtheile dieses Lichts und den Intensitäten der entsprechenden Bestandtheile der Beleuchtung. Nur dieses Verhältniss ist der Ausdruck einer constanten Eigenschaft des Körpers.

Wenn man sich dies theoretisch überlegt, könnte die Aufgabe, die Farbe eines Körpers bei wechselnder Beleuchtung zu beurtheilen, als eine verzweifelt schwierige erscheinen. Sehen wir uns dagegen in der Praxis um, so finden wir bald, dass wir die Körperfarben mit der grössten Sicherheit und ohne uns nur zu besinnen unter den allerverschiedensten Umständen richtig zu beurtheilen wissen. Weisses Papier im Vollmondschein ist dunkler als schwarzer Sammt im Tageslicht; doch zögern wir nie, das Papier als weiss, den Sammt als schwarz anzuerkennen. Ja, es ist uns viel schwerer, zu erkennen, dass ein grauer, hell von der Sonne beschienener Körper Licht von genau derselben Farbe und vielleicht auch von derselben Helligkeit zurückwirft, wie ein beschatteter weisser, als zu erkennen, dass die Körperfarbe eines beschatteten weissen Papiers dieselbe ist, wie die eines daneben liegenden sonnenbeleuchteten derselben Art. Grau erscheint uns durchaus specifisch verschieden vom Weiss; als Körperfarbe ist es dies auch, denn ein Körper, der nur das halbe Licht zurückwirft, muss eine andere Oberflächenbeschaffenheit haben, als einer, der das ganze zurückwirft. Und doch kann der Netzhauteindruck von beleuchtetem Grau absolut identisch sein mit dem von beschattetem Weiss. Jeder Maler stellt beschattetes Weiss mit grauer Farbe dar; hat er es recht naturgetreu nachgeahmt, so erscheint der dargestellte Gegenstand dessen ungeachtet rein weiss. Will man sich von der Gleichheit der Lichtfarbe des Grau und Weiss sinnlich überzeugen, so kann man das nur, indem man etwa durch eine Brennlinse starkes Licht auf eine graue Kreisscheibe concentrirt, so dass die Grenzen der stärkeren Beleuchtung genau mit denen des grauen Kreises zusammenfallen, und sich das Vorhandensein einer künst-

Digitized by Google

lichen Beleuchtung im unmittelbaren sinnlichen Eindruck nirgend verräth. Dann sieht das Grau wirklich weiss aus.

Wir dürfen annehmen — diese Annahme wird durch gewisse Contrasterscheinungen gerechtfertigt —, dass die Beleuchtung des hellsten vorhandenen Weiss uns den Maassstab abgiebt für die Beurtheilung der daneben stehenden dunkleren Körper, da unter gewöhnlichen Verhältnissen bei geschwächter Beleuchtung oder vermehrter Ermüdung der Netzhaut die Lichtstärke aller Körperfarben in gleichem Maasse abzunehmen pflegt.

Dies letztere gilt bei den extremsten Graden der Beleuchtung zwar immer noch für die Intensität des objectiven Lichts, aber nicht mehr für die Empfindung. Bei sehr greller Beleuchtung, die sich dem Blendenden nähert, verwischen sich die Helligkeitsunterschiede der helleren Flächen für die Empfindung mehr und mehr; bei sehr schwachem Lichte werden dafür die Helligkeitsunterschiede der dunkelsten Objecte ununterscheidbar. So nähern sich im Sonnenschein die Körperfarben mittlerer Helligkeit mehr den hellsten, im Mondenschein mehr den dunkelsten. Diesen Unterschied benutzen die Maler, um in ihren Gemälden, die ja alle der Regel nach bei gleich hellem Tageslicht betrachtet werden, und auch nicht entfernt so grosse Unterschiede der mittleren Helligkeit zulassen, wie der zwischen Sonnenschein und Mondschein ist, doch Beides darzustellen. Um Sonnenschein auszudrücken, machen sie auch die mittelhellen Gegenstände fast ganz hell, bei Mondschein machen sie auch diese fast ganz dunkel. Dazu kommt dann noch ein anderer Unterschied, der auch in der Empfindungsweise beruht. Bei gleichmässiger Vermehrung der Lichtstärke verschiedener Farben wächst nämlich der Eindruck des Roth und Gelb stärker als der des Blau. Wenn man ein rothes und blaues Papier aussucht, die bei mittlerem Tageslichte etwa gleich hell erscheinen, so erscheint in grellem Sonnenlicht das rothe viel heller, im Mondschein oder Sternenschein das blaue. Spectralfarben zeigen dieselbe Erscheinung. Auch dies benutzen die Maler, indem sie den Sonnenlandschaften überwiegend gelben Ton, dem Mondschein überwiegend blauen geben.

In diesem Verfahren tritt besonders deutlich hervor, wie unabhängig wir uns in unserem Urtheil über die Körperfarben von der absoluten Beleuchtungsstärke gemacht haben. Ebenso befreien wir uns fast vollständig von dem Einflusse, den die Farbe der herrschenden Beleuchtung hat. Wir wissen freilich einigermaassen, dass Kerzenlicht rothgelb ist, verglichen mit Tageslicht; wie sehr

Digitized by Google

sich aber seine Farbe von der des Sonnenlichts unterscheidet, das erfahren wir doch anschaulich erst, wenn wir beide Beleuchtungen in gleicher Intensität dicht neben einander bringen, zum Beispiel bei dem Versuche mit den farbigen Schatten. Lassen wir in ein dunkles Zimmer durch eine enge Oeffnung Licht eines grauen Wolkenhimmels, das ist also geschwächtes weisses Tageslicht (oder auch Mondlicht), von einer Seite auf ein horizontales weisses Papier fallen, von der anderen Seite her Kerzenlicht, und setzen wir einen Stab senkrecht auf das Papier, so wirft er zwei Schatten, einen, den das Tageslicht nicht beleuchtet, wohl aber das Kerzenlicht; dieser ist rothgelb, und sieht auch so aus. Den zweiten Schatten beleuchtet das Tageslicht, aber nicht das Kerzenlicht; dieser ist weiss, und erscheint blau durch Contrast. Dieses Blau und jenes Rothgelb der beiden Schatten sind die beiden Farben, die wir weiss nennen, das eine bei Tagesbeleuchtung, das andere bei Kerzenbeleuchtung. Neben einander gestellt erscheinen sie als zwei sehr verschiedene, ziemlich gesättigte Farben. Und doch stehen wir keinen Augenblick an bei Kerzenbeleuchtung weisses Papier als weiss anzuerkennen, und von goldgelbem zu unterscheiden.

Am merkwürdigsten in dieser Reihe von Erscheinungen ist es, dass wir die Farbe einer durchscheinenden farbigen Decke von der der dahinter liegenden Objecte trennen, wie es bei einer ganzen Reihe interessanter Contrastphänomene geschieht. Ja wenn wir durch einen grünen Schleier blicken, kann es so weit kommen, dass uns weisse Gegenstände, deren Licht doch mit dem grünen des Schleiers gemischt, also jedenfalls grünlich ist, im Gegentheil röthlich erscheinen, indem sich das röthliche Nachbild des Grün an ihnen zeigt. So vollständig trennen wir das Licht, welches der Decke angehört, von den durch die Decke gesehenen Gegenständen [1]).

Man bezeichnet die Veränderungen der Farbe in den beiden letzten Versuchen als Contrasterscheinungen; meistens sind dies Täuschungen über die Körperfarbe von Objecten, welche auf undeutlich ausgeprägten Nachbildern beruhen; dies giebt den sogenannten successiven Contrast, der beim Wandern des Blicks über farbige Objecte eintritt. Zum Theil beruhen die Contrasterscheinungen aber auch darauf, dass uns unsere Gewohnheit, die Körperfarbe nach den relativen Verhältnissen der Helligkeit und

---

[1]) Eine ganze Reihe entsprechender Versuche finden sich beschrieben in meinem Handbuch der Physiologischen Optik S. 398 bis 400; 410 bis 411.

Digitized by Google

Farbe der verschiedenen gleichzeitig gesehenen Dinge zu beurtheilen, in die Irre führen kann, wenn die Verhältnisse von den gewöhnlichen abweichen, wenn zum Beispiel zwei Beleuchtungen oder farbige durchsichtige Decken da sind, oder da zu sein scheinen, wo sie nicht sind; diese letzteren Fälle sind die des simultanen Contrastes. Bei dem Versuche mit den farbigen Schatten zum Beispiel giebt uns der doppelt beleuchtete Grund, welcher das hellste unter den gleichzeitig gesehenen Objecten ist, einen falschen Maassstab für das Weiss. Mit ihm verglichen erscheint uns das wirkliche, aber weniger helle Weiss des einen Schattens blau. Ausserdem tritt bei diesen Contrasten noch der Umstand mitwirkend auf, dass deutlich wahrnehmbare Unterschiede in der Empfindung uns grösser erscheinen, als undeutlich wahrnehmbare. Deutlich wahrnehmbar sind aber die vor Augen liegenden Farbenunterschiede gegen die in der Erinnerung liegenden, sind ferner die dicht benachbarter Stellen des Gesichtsfeldes gegen die entfernterer u. s. w. Alles dies hat seinen Einfluss. Es kommen hier ziemlich viele verschiedenartige Umstände in Betracht, deren Verfolgung in den einzelnen Fällen sehr interessantes Licht wirft auf die Motive, nach denen wir die Körperfarben beurtheilen, ein Capitel, was wir freilich hier nicht weiter ausführen können. Es ist dasselbe übrigens für die Theorie der Malerei von ebenso grossem Interesse wie für die Physiologie, da die Maler vielfältig eine gesteigerte Nachahmung der natürlichen Contrasterscheinungen anwenden, um grössere Lichtunterschiede und Farbensättigung dem Zuschauer vorzuspiegeln, als sie in der That mit ihren Farben hervorbringen können.

Hiermit beenden wir die Lehre von den Gesichtsempfindungen. Es hat uns dieser Abschnitt unserer Untersuchung also ergeben, dass die Qualitäten der Gesichtsempfindungen nichts als Zeichen für gewisse qualitative Unterschiede theils des Lichts, theils der beleuchteten Körper sind, ohne aber eine genau entsprechende objective Bedeutung zu haben; dass sie sogar das einzige wesentliche Erforderniss eines Zeichensystems, nämlich die Constanz, nur mit sehr wesentlichen Einschränkungen und Mängeln besitzen; daher wir oben ihnen nur soviel nachrühmen konnten, dass sie unter übrigens gleichen Umständen in gleicher Weise für die gleichen Objecte auftreten. Trotz alledem finden wir schliesslich nun doch, dass wir mittels dieses ziemlich inconstanten Zeichensystems den wesentlichen Theil der uns gestellten Aufgabe, nämlich die gleichen Körperfarben in constanter Weise

Digitized by Google

überall wiederzuerkennen, gut, und in Anbetracht der entgegenstehenden Schwierigkeiten sogar auffallend gut zu lösen im Stande sind. Aus diesem schwankenden System von Helligkeiten und Farben, schwankend nach der Beleuchtung, schwankend nach der veränderlichen Ermüdung des Organs, schwankend nach der getroffenen Netzhautstelle, wissen wir das eine, was fest ist, die Körperfarbe, die einer unveränderlich bleibenden Qualität der Körperoberfläche entspricht, herauszulösen, nicht durch langes Besinnen, sondern mit augenblicklicher unwillkürlicher Evidenz.

Was wir in dem optischen Apparat und im Netzhautbilde an Ungenauigkeiten und Unvollkommenheiten gefunden haben, erscheint als durchaus unerheblich neben den Incongruenzen, denen wir hier im Gebiete der Empfindungen begegnen. Fast könnte man glauben, die Natur habe sich hier absichtlich in den kühnsten Widersprüchen gefallen, sie habe mit Entschiedenheit jeden Traum von einer prästabilirten Harmonie der äusseren und inneren Welt zerstören wollen.

Und wie sieht es mit der Lösung unserer Aufgabe aus, das Sehen zu erklären. Mancher könnte glauben, wir seien ihr ferner, als je zuvor; das Räthsel sei nur noch verwickelter, die Hoffnung es zu entziffern noch geringer geworden. Vielleicht fühlt er sich geneigt auf die Wissenschaft zu schmähen, die in unfruchtbarer Kritik die schöne Sinnenwelt nur zu zerschlagen wisse, um die Stücke ins Nichts hinüber zu tragen; und er beschliesst sich auf den gesunden Menschenverstand zu steifen und seinen Sinnen mehr zu glauben, als dem Physiologen.

Uns fehlt aber noch ein Theil der Untersuchung, der die Raumanschauungen zu behandeln hat. Sehen wir zu, ob sich da nicht am Ende noch das natürliche Vertrauen auf die Richtigkeit dessen, was die Sinne uns lehren, auch vor der Wissenschaft rechtfertigen wird.

Digitized by Google

III.

Die Gesichtswahrnehmungen.

Die Farben, mit deren Bedeutung wir uns im vorigen Abschnitte beschäftigt haben, sind ein Schmuck, den wir ungern entbehren würden; sie sind auch ein Mittel, um die Unterscheidung und die Wiedererkennung der Gesichtsobjecte zu erleichtern, indessen tritt ihre Wichtigkeit bei Weitem hinter der schnellen und ausgedehnten Unterscheidung der Raumverhältnisse zurück, deren wir durch das Auge fähig sind. Kein anderer Sinn kann in dieser Beziehung mit dem Auge sich vergleichen. Der Tastsinn unterscheidet zwar auch Raumverhältnisse und hat vor dem Auge den Vorzug, dass er das Materielle, was er erreichen kann, zuverlässiger auffasst, weil er sogleich auch Widerstand, Masse und Gewicht prüft. Aber sein Bereich ist beschränkt, und die Unterscheidung kleiner Distanzen lange nicht so fein, wie die durch das Gesicht. Dennoch genügt der Tastsinn, wie die Erfahrungen an Blindgebornen lehren, vollkommen, um fertige Raumanschauungen zu entwickeln. Er bedarf dazu nicht des Auges. Ja wir werden uns noch überzeugen können, dass wir die Raumanschauungen des Auges fortdauernd durch die des Tastsinns, wo es angeht, controliren und corrigiren und dabei die Aussagen des letzteren immer als die entscheidenden betrachten. Beide Sinne, welche im Wesentlichen an derselben Aufgabe, aber mit äusserst verschiedener Begabung arbeiten, ergänzen sich gegenseitig in sehr glücklicher Weise. Während der Tastsinn ein zuverlässiger Gewährsmann, aber von eng begrenztem Gesichtskreise ist, dringt das Auge mit dem kühnsten Fluge der Phantasie wetteifernd in ungemessene Fernen vor.

Digitized by Google

Für die uns vorliegende Aufgabe ist diese Verbindung von grosser Wichtigkeit. Denn da wir es hier nur mit dem Gesichtssinn zu thun haben, und der Tastsinn zur vollständigen Hervorbringung der Raumanschauung genügt, so können wir zunächst die letztere in ihren allgemeinen Zügen als fertig gegeben voraussetzen, und uns darauf beschränken zu untersuchen, wo die Uebereinstimmung zwischen den Raumanschauungen des Gesichtssinns und des Tastsinns herrührt. Die Frage, wie es bei den gegebenen sinnlichen Perceptionen überhaupt zur Raumanschauung kommen könne, wollen wir erst am Schluss besprechen.

Zunächst fällt es in die Augen, wenn wir die allbekannten Thatsachen überschauen, dass die Vertheilung der Empfindungen auf örtlich getrennte Nervenapparate keineswegs nothwendig die Vorstellung local getrennter Ursachen dieser Empfindungen hervorruft. Wir können zum Beispiel Licht, Wärme, verschiedene Töne eines Musikinstruments, und vielleicht auch einen Geruch in einem Zimmer empfinden und erkennen, dass alle diese Agentien gleichzeitig und räumlich nicht getrennt in der Luft des Zimmers allgemein verbreitet vorhanden sind. Wir erhalten von einer Mischfarbe, die sich in unserer Netzhaut abbildet, drei verschiedene Elementarempfindungen, wahrscheinlich in verschiedenen Nerven, ohne sie zu trennen. Wir hören von einer angeschlagenen Saite, oder von einer menschlichen Stimme gleichzeitig verschiedene Töne, einen Grundton und eine Reihe harmonischer Obertöne, welche ebenfalls wahrscheinlich von verschiedenen Nerven empfunden werden, ohne dieselben örtlich zu trennen. Bei vielen Substanzen, die wir geniessen, schmecken wir verschieden mit den verschiedenen Stellen der Zunge und riechen gleichzeitig, während die Speise den Schlund passirt, deren flüchtige Bestandtheile, während doch diese verschiedenen, durch verschiedene Nervenapparate percipirten Empfindungen gewöhnlich ungetrennt in der einen Gesammtempfindung des Geschmackes der genossenen Substanz vereinigt bleiben.

Allerdings können wir bei einiger Aufmerksamkeit die Stellen unseres Körpers kennen lernen, durch welche diese Empfindungen eindringen, aber wenn diese auch verschieden sind, so folgt daraus nicht, dass wir das Object, was die Empfindung hervorruft, uns entsprechend räumlich getrennt denken müssten.

Im Bereiche des Sehens finden wir eine entsprechende Thatsache, nämlich die, dass wir mit zwei Augen dasselbe Object einfach sehen, trotz der Empfindung in zwei getrennten Nervenappa-

Digitized by Google

raten. Es ist dies, wie sich hier zeigt, ein einzelnes Beispiel eines viel allgemeineren Gesetzes.

Wenn wir also finden, dass auf der Netzhaut ein flächenhaft ausgebreitetes optisches Bild der Gegenstände des Gesichtsfeldes zu Stande kommt, und dass die verschiedenen Theile dieses Bildes verschiedene Nervenfasern erregen, so ist dies noch nicht ein genügender Grund dafür, dass wir diese Empfindungen auch auf räumlich getrennte Theile des Gesichtsfeldes beziehen. Es muss offenbar noch etwas Anderes hinzukommen, um die Anschauung der räumlichen Trennung dieser Eindrücke hervor zu bringen.

Dasselbe Problem gilt offenbar in gleicher Weise vom Tastsinn. Wenn zwei verschiedene Stellen der Haut gleichzeitig berührt werden, so werden zwei verschiedene empfindende Nervenfasern in Erregung gesetzt. Aber deren räumliche Trennung ist an sich, wie wir schliessen müssen, noch nicht der ausreichende Grund dafür, dass wir die beiden Berührungsstellen als verschiedene anerkennen, und zwei verschiedene berührende Objecte vorstellen. Ja beim Tastsinn kann das sogar nach Nebenumständen wechseln. Wenn wir mit beiden Zeigefingern den Tisch berühren, und unter jeder Fingerspitze ein Sandkorn fühlen, so bilden wir die Wahrnehmung, dass zwei Sandkörner da seien. Wenn wir aber die beiden Fingerspitzen aneinander gelegt und zwischen beiden ein Sandkorn eingeschlossen haben, so können wir dieselben Berührungsempfindungen in denselben beiden Nervenfasern haben, wie vorher, und doch bildet sich uns unter diesen Umständen die Vorstellung von nur einem Sandkorn. Es hat hier offenbar die gleichzeitige Wahrnehmung von der Stellung der Glieder Einfluss auf das Resultat unserer Anschauung, und es ist bekannt, dass unter Umständen, wo wir eine falsche oder unvollkommene Vorstellung von der Stellung der tastenden Finger haben, zum Beispiel wenn zwei Finger über einander gekreuzt werden, wir auch zwei berührte Kügelchen zu fühlen glauben, während nur eines zwischen den Fingern ist.

Was ist es nun, was noch hinzukommt zu der räumlichen Trennung der empfindenden Nerven, und in diesen Fällen die entsprechende räumliche Trennung in der Anschauung hervorbringt? In der Beantwortung dieser Frage treffen wir auf einen noch nicht beendeten Streit. Die eine Partei antwortet, dem Vorgange von Johannes Müller folgend, dass das räumlich ausgedehnte Sinnesorgan, Netzhaut oder Haut, sich selbst in dieser räumlichen Ausdehnung empfände, dass diese Anschauung angeboren sei, und

Digitized by Google

dass die von aussen her erregten Eindrücke nur an entsprechender Stelle in das räumlich ausgedehnte Anschauungsbild des Organes von sich selbst eingetragen würden. Wir wollen diese Ansicht als die nativistische Theorie der Raumanschauung bezeichnen. Sie schneidet im Wesentlichen das weitere Nachsuchen nach dem Ursprung der Raumanschauung ab, indem sie sie für etwas ursprünglich gegebenes, angeborenes, nicht weiter erklärbares ausgiebt.

Die entgegenstehende Ansicht ist in allgemeinerer Form schon von den englischen Sensualisten, von Molineux, J. Locke, Jurine ausgesprochen worden. Ihre Anwendung auf die specielleren physiologischen Verhältnisse konnte erst in neuester Zeit beginnen, nachdem namentlich das Studium der Augenbewegungen genauer durchgeführt war. Die Erfindung des Stereoskops durch Wheatstone machte die Schwierigkeiten und Unzuträglichkeiten der nativistischen Theorie viel augenfälliger, als sie vorher waren, und drängte zu einer anderen Lösung, welche sich jener älteren wieder näher anschloss, und die wir als die empiristische Theorie vom Sehen bezeichnen wollen. Diese Theorie nimmt an, dass unsere Sinnesempfindungen uns überhaupt nichts weiter geben als Zeichen für die äusseren Dinge und Vorgänge, welche zu deuten wir durch Erfahrung und Uebung erst lernen müssen. Was namentlich die Wahrnehmung der örtlichen Unterschiede betrifft, so würde diese erst mit Hilfe von Bewegungen kennen zu lernen sein, im Gesichtsfelde namentlich mittels der Augenbewegungen. Einen Unterschied zwischen den Empfindungen verschiedener Netzhautstellen, der von der örtlichen Verschiedenheit derselben herrührt, muss natürlich auch die empiristische Theorie anerkennen. Wenn ein solcher nicht vorhanden wäre, würde es überhaupt unmöglich sein, örtliche Unterschiede im Gesichtsfelde zu machen. Die Empfindung von Roth, welches die rechte Seite einer Netzhaut trifft, muss irgendwie unterschieden sein von der Empfindung desselben Roth, wenn es die linke Seite derselben Netzhaut trifft, und zwar muss dieser Unterschied beider Empfindungen ein anderer sein, als wenn zwei verschiedene Abstufungen des Roth nach einander dieselbe Netzhautstelle treffen. Diesen übrigens vorläufig seiner Art nach unbekannt bleibenden Unterschied zwischen den Empfindungen, welche dieselbe Farbe in verschiedenen Netzhautstellen erregt, nennen wir mit Lotze das Localzeichen der Empfindung. Ich halte es für verfrüht, irgend welche weiteren Hypothesen über die Art dieser Localzeichen aufzustellen. Nur die Existenz der-

Digitized by Google

selben folgt zweifellos aus der Thatsache, dass wir locale Unterschiede im Gesichtsfelde unterscheiden.

Der Unterschied zwischen den einander gegenüberstehenden Ansichten ist also der, dass die empiristische Theorie die Localzeichen als irgend welche Zeichen betrachtet — gleichviel, welcher Art sie seien — und verlangt, dass die Bedeutung dieser Zeichen für die Erkenntniss der Aussenwelt gelernt werden könne und gelernt werde. Dabei ist es also auch nicht nöthig, irgend welche Art von Uebereinstimmung zwischen den Localzeichen und den ihnen entsprechenden äusseren Raumunterschieden vorauszusetzen. Die nativistische Theorie dagegen setzt voraus, dass die Localzeichen nichts anderes seien als unmittelbare Anschauungen der Raumunterschiede als solcher, sowohl ihrer Art, als ihrer Grösse nach. Der Leser wird hieran erkennen, dass der durchgreifende Gegensatz der verschiedenen philosophischen Systeme, welche bald eine prästabilirte Harmonie zwischen den Gesetzen des Denkens und Vorstellens mit denen der äusseren Welt voraussetzen, bald alle Uebereinstimmung der inneren und äusseren Welt aus der Erfahrung herzuleiten suchen, auch in das uns vorliegende Gebiet eingreift.

So lange wir uns nun auf die Betrachtung eines flächenhaften Feldes beschränken, dessen einzelne Theile keine oder wenigstens keine erkennbare Verschiedenheit ihrer Entfernung vom Auge darbieten, so lange wir also zum Beispiel nur den Himmel und die entfernten Theile der Landschaft betrachten, so geben beide Theorien im Wesentlichen gleich guten Aufschluss über die Wahrnehmung der Raumverhältnisse eines solchen Feldes. Das flächenhafte Netzhautbild entspricht dann dem flächenhaften Anschauungsbilde, welches wir von den genannten Objecten gewinnen. Die Incongruenzen, welche zwischen beiden bestehen, sind nicht von so eingreifender Art, dass sie nicht noch durch verhältnissmässig einfache Erklärungen oder Annahmen mit der nativistischen Theorie zu vereinigen wären.

Die erste dieser Incongruenzen zeigt sich darin, dass das Netzhautbild auf den Kopf gestellt ist, das Obere nach unten, das Rechte nach links gekehrt; die Fig. 44, Seite 247 lässt erkennen, wie durch die Kreuzung der Strahlen in der Pupille diese Lage der Bilder zu Stande kommt. Der Punkt *a* ist das Bild von *A*, *b* von *B*. Es ist dies ein alter Stein des Anstosses in der Theorie vom Sehen gewesen, zu dessen Beseitigung vielerlei Arten von Hypothesen ausgesonnen worden sind. Zuletzt sind zwei hauptsäch-

Digitized by Google

lich stehen geblieben; entweder der Begriff von Oben und Unten in den Gesichtsanschauungen wird überhaupt, wie es Johannes Müller that, als nur relativ, die Beziehung des Einen gegen das Andere betreffend, betrachtet, und es wird vorausgesetzt, dass die Uebereinstimmung zwischen dem Oben des Gesichtssinns und dem des Tastsinns durch die Erfahrung gewonnen werde, indem man die tastenden Hände im Gesichtsfelde erscheinen sieht. Oder, da ja doch die Erregungen von den Netzhäuten nach dem Gehirne geleitet werden müssen, um dort wahrgenommen zu werden, könnte man auch mit L. Fick die zweite Annahme machen, dass im Gehirn Sehnervenfasern und Tastnervenfasern passend zusammengeordnet seien, um die Uebereinstimmung von Oben und Unten, von Rechts und Links herzustellen; eine Annahme, der freilich bis jetzt jede Spur eines bekannten anatomischen Substrats abgeht.

Die zweite Incongruenz für die nativistischen Theorien ist die, dass wir zwei Netzhautbilder haben, während wir doch einfach sehen. Dieser Schwierigkeit wurde von den Anhängern genannter Theorien durch die Annahme begegnet, dass beide Netzhäute, wenn sie erregt werden, im Gehirn nur eine Empfindung auslösen, und zwar so, dass die Punkte beider Netzhäute paarweise zusammengehören und je zwei zusammengehörige (identische oder correspondirende) Punkte nur als einer empfunden werden. Eine anatomische Structur, die dieser Annahme vielleicht entsprechen könnte, ist in der That zu finden. Es kreuzen sich nämlich beide Sehnerven, ehe sie in das Gehirn eintreten, und verbinden sich hier mit einander. Pathologische Erfahrungen, bei Gehirnkrankheiten gemacht, lassen es als wahrscheinlich erscheinen, dass die Nervenfasern beider rechten Netzhauthälften nach der rechten Hirnhemisphäre, die der linken zur linken ihren Lauf nehmen, wobei also in der That correspondirende Fasern zusammengefasst werden. Wenn dies aber auch richtig ist, so ist doch jedenfalls anatomisch noch nicht erwiesen, dass correspondirende Fasern verschmelzen.

Für die empiristische Theorie liegen in den beiden berührten Punkten keine Schwierigkeiten, da es sich in ihr nur darum handelt, dass das gegebene sinnliche Zeichen, sei es einfach, sei es zusammengesetzt, erkannt werde als das Zeichen für das, was es bedeutet. Der ununterrichtete Mensch ist in seinen Gesichtswahrnehmungen so sicher wie möglich, ohne auch nur zu wissen, dass es zwei Netzhäute, darauf zwei umgekehrte Netzhautbilder, dass es Erregungen von Sehnervenfasern giebt, und dass diese

Digitized by Google

nach dem Gehirn geleitet werden. Ihn kümmert also auch die Verkehrtheit und die Doppeltheit der Netzhautbilder nicht. Er kennt die Eindrücke, die dieses oder jenes, so oder so gelegene Ding ihm durch sein Auge macht, und danach richtet er sich. Die Möglichkeit aber, die räumliche Bedeutung der unseren Gesichtsempfindungen anhaftenden Localzeichen kennen zu lernen, ist dadurch gegeben, dass wir einerseits die bewegten Theile unseres eigenen Körpers im Gesichtsfelde haben, und also, wenn wir durch den Tastsinn schon wissen, was räumliche Verhältnisse und was Bewegung sei, lernen können, welche Aenderungen im Gesichtseindrucke einer Bewegung der gesehenen Hand nach hierhin oder dorthin entsprechen. Andererseits, wenn wir die Augen vor einem mit ruhenden Objecten gefüllten Gesichtsfelde bewegen, und mit ihnen die Netzhaut, so verschiebt sich diese gegen das fast unveränderte Lage behaltende Netzhautbild. Wir erfahren dadurch, welchen Eindruck das gleiche Object auf verschiedene Theile der Netzhaut macht. Ein unverändertes Netzhautbild, was bei der Drehung des Auges sich an der Netzhaut verschiebt, ist wie ein Cirkel, den wir auf einer Zeichnung hin- und herbewegen, um dadurch zu erfahren, welche Abstände gleich, welche ungleich gross sind. Selbst wenn die Localzeichen der Empfindung ein beliebig und ohne alle systematische Ordnung durch einander gewürfeltes System von Zeichen wären (was ich aber keineswegs als wahrscheinlich voraussetze), würde es durch dieses Verfahren möglich sein zu ermitteln, welche benachbarten Stellen angehören, und welche Paare von Zeichen gleichen Distanzen in verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes entsprechen.

Es ist mit dieser Annahme in Uebereinstimmung, dass wie die darauf bezüglichen Versuche von Fechner, Volkmann und mir selbst gelehrt haben, auch vom vollkommen ausgebildeten Auge des Erwachsenen nur solche Paare von Linien und Winkeln im Gesichtsfelde genau und richtig ihrer Grösse nach verglichen werden, welche mittels der normalen Augenbewegungen unmittelbar nach einander auf derselben Linienstrecke oder demselben Winkel der Netzhaut abgebildet werden können.

Ferner lässt sich durch einen einfachen Versuch nachweisen, dass die Uebereinstimmung zwischen den Wahrnehmungen des Tastsinns und des Gesichtssinns auch beim Erwachsenen auf einer fortdauernden Vergleichung beider mittels der Gesichtsbilder unserer Hände beruht. Wenn man nämlich eine Brille mit prismatischen Gläsern aufsetzt, deren ebene Grenzflächen nach rechts hin

Digitized by Google

convergiren, so erscheinen alle Gegenstände den Augen nach rechts hin verschoben. Sucht man einen der gesehenen Gegenstände zu greifen, indem man die Augen schliesst, ehe man die Hand im Gesichtsfelde erscheinen sieht, so greift man rechts daran vorbei. Sieht man aber bei diesem Versuche nach der Hand hin, so führt man sie richtig, indem man das Gesichtsbild der Hand nach dem Gesichtsbilde des Objectes hinführt, was man greifen will. Hat man ein bis zwei Minuten lang mit der Hand die Objecte betastet, und ist ihr mit den Augen gefolgt, so ist trotz der täuschenden Brille die neue Uebereinstimmung zwischen Auge und Hand hergestellt, und man weiss nun die falsch gesehenen Gegenstände richtig zu greifen, auch wenn man die Augen schliesst. Ja man weiss sie jetzt auch mit der anderen nicht gesehenen Hand richtig zu greifen, woraus folgt, dass nicht die Wahrnehmung durch den Tastsinn den falschen Gesichtsbildern, sondern im Gegentheil die Gesichtswahrnehmung derjenigen des Tastsinns angepasst und nach letzterer berichtigt worden ist. Nimmt man dann aber, nachdem man eine Weile so fortgefahren hat, die Brille ab, betrachtet die Gegenstände mit freien Augen, ohne die Hand zu zeigen, und sucht jetzt die Dinge zu greifen, indem man die Augen schliesst, so fährt man nun nach der entgegengesetzten Seite, als vorher, nämlich nach links, vorbei. Die neue Verbindung zwischen den Gesichts- und Tastwahrnehmungen wirkt dann noch fort, auch nachdem die normalen Verhältnisse wieder eingetreten sind.

Wenn wir unter dem umkehrenden zusammengesetzten Mikroskope mit Nadeln präpariren, und selbst schon, wenn wir uns nach dem Rechts und Links verkehrenden Bilde eines gewöhnlichen Spiegels rasiren lernen, tritt ebenfalls eine neue Anpassung der Bewegungen an ein abweichendes Gesichtsbild ein.

Während die bisher erwähnten Fälle, wo das Anschauungsbild eines flächenhaften Gesichtsfeldes den wirklich vorhandenen Netzhautbildern im Wesentlichen gleichartig und ähnlich ist, sich den beiden einander entgegenstehenden Theorien ziemlich gleich gut anpassen lassen, stellt sich die Sache ganz anders, wenn wir zur Betrachtung nahe vor uns befindlicher, nicht nur nach zwei, sondern nach drei Dimensionen ausgedehnter Objecte übergehen. Hier tritt eine wesentliche und tief eingreifende Incongruenz zwischen unseren Netzhautbildern einerseits, und sowohl der wirklichen Aussenwelt, als dem richtigen Anschauungsbilde, was wir von ihr haben, andererseits ein. Auf diesem Gebiete ist die Entscheidung zwischen den einander gegenüber stehenden Theorien zu

Digitized by Google

suchen, und dieses Gebiet, die Lehre von der Tiefenwahrnehmung des Gesichtsfeldes und vom binocularen Sehen, durch welches jene hauptsächlich zu Stande kommt, ist deshalb auch schon seit einer Reihe von Jahren der Tummelplatz vieler Untersuchungen und vieler Streitigkeiten gewesen. In der That sind es, wie das Vorhergehende zeigt, fundamentale Fragen von grosser Wichtigkeit und weit reichender Bedeutung für alles menschliche Wissen, die hier zur Entscheidung drängen.

Jedes unserer Augen entwirft ein flächenhaftes Bild auf seiner Netzhaut. Wie man sich auch die Nervenleitungen angelegt denken mochte, im Gehirn konnten die beiden vereinigten Netzhautbilder doch auch immer nur wieder durch ein flächenhaftes Bild repräsentirt werden. Aber an Stelle der zwei flächenhaften Netzhautbilder finden wir in unserer Anschauung ein körperliches Bild nach drei Dimensionen gedehnt. Auch hier ist, wie im Systeme der Farben, die Aussenwelt wieder reicher um eine Dimension, als die Empfindung; aber dies Mal folgt die Anschauung in unserem Bewusstsein dem Reichthum der Aussenwelt vollkommen nach. Diese unsere Tiefenanschauung ist, was wohl zu bemerken ist, vollkommen ebenso lebendig, unmittelbar und genau, wie die Anschauung der flächenhaften Dimensionen des Gesichtsfeldes. Wenn wir einen Sprung von einem Stein zum anderen machen sollen, hängen Gesundheit und Leben ebenso sehr davon ab, dass wir die Entfernung des Steins von uns richtig schätzen, als dass wir ihn nicht zu weit nach rechts oder nach links verlegen; und wir thun in der That das eine ebenso schnell und ebenso sicher, wie das andere.

Wie kann nun Tiefenanschauung zu Stande kommen? Lernen wir zunächst die Thatsachen kennen.

Zuerst ist zu bemerken, dass die Unterscheidung der körperlichen Form der Gegenstände und ihres verschiedenen Abstandes von uns nicht ganz fehlt, auch wenn wir dieselben nur mit einem Auge und ohne uns von der Stelle zu bewegen betrachten. Die Hilfsmittel, die uns dabei zu Gebote stehen, sind wesentlich dieselben, welche der Maler anwenden kann, um den auf seiner Leinwand dargestellten Gegenständen den Schein einer körperlichen Form und verschiedener Entfernung zu geben. Wir loben es, wenn in einem Gemälde die Objecte nicht flach, sondern kräftig körperlich hervorspringend erscheinen. Beobachten wir nun den Landschaftsmaler, so finden wir: er liebt tief stehende Sonne, welche ihm starke Schatten giebt, denn diese heben die Form der darge-

Digitized by Google

stellten Objecte kräftig hervor; er liebt eine nicht ganz klare Luft, leichte Trübung derselben macht die Ferne stark zurücktreten. Er liebt Staffage von Menschen und Vieh; denn an den Gegenständen von bekannter Grösse orientiren wir uns leicht über die wahre Grösse der dargestellten Objecte und über ihre scheinbare Entfernung. Endlich sind auch regelmässig gebildete Producte menschlichen Kunstfleisses, z. B. Gebäude, nützlich für die Orientirung, denn sie geben unzweideutig die Richtung der Horizontalebene zu erkennen. Am vollkommensten gelingt die Darstellung der Körperform mittels richtig construirter perspectivischer Zeichnungen bei Gegenständen von regelmässiger und symmetrischer Form, wie die Zeichnungen von Gebäuden, Maschinen und Geräthschaften zeigen. Bei allen solchen wissen wir, dass deren Körperform in ihren Hauptzügen entweder durch rechtwinklig auf einander stossende Ebenen oder durch kugelige und drehrunde Flächen begrenzt wird. Dies genügt, um für unser Verständniss zu ergänzen, was die Zeichnung unmittelbar nicht ergiebt; ja selbst schon die Symmetrie der beiden Seiten des menschlichen und thierischen Körpers erleichtert das Verständniss perspectivischer Abbildungen derselben.

Dagegen an Körpern von unbekannter und ganz unregelmässiger Gestalt, Felsen, Eisblöcken u. s. w., scheitert auch die Kunst des besten Malers; ja selbst die von der Natur selbst vollendete, getreueste Darstellung solcher Gegenstände in Photographien zeigt oft nichts als ein unverständliches Gemenge dunkler und heller Flecke. Haben wir die gleichen Gegenstände dagegen in Wirklichkeit vor Augen, so genügt ein Blick, um ihre Form genau aufzufassen.

Es war zuerst einer der grossen Meister der Malerei, welcher genau ausgesprochen hat, worin die wirkliche Anschauung des wirklichen Gegenstandes jedem Gemälde nothwendig überlegen ist, nämlich L e o n a r d o d a V i n c i, der übrigens ein fast ebenso grosser Physiker als Maler war. Er machte in seinem Trattato della pittura schon darauf aufmerksam, dass wir mit zwei Augen sehen, und dass deren beide Ansichten der Welt nicht ganz mit einander identisch sind. Jedes Auge nämlich sieht in seinem Netzhautbilde eine perspectivische Ansicht der vor ihm liegenden Gegenstände; aber da beide Augen etwas verschiedenen Ort im Raume haben, so ist der Standpunkt, von dem aus ein jedes seine perspectivische Aufnahme vollzieht, nicht gleich, und demnach das perspectivische Bild selbst etwas verschieden von dem des anderen Auges. Wenn

Digitized by Google

ich meinen Finger vor mich hinhalte, und abwechselnd das rechte und linke Auge öffne und schliesse, so deckt mir der Finger in dem Bilde des linken Auges eine weiter nach rechts gelegene Stelle der gegenüberliegenden Wand des Zimmers, als im Bilde des rechten Auges. Wenn ich meine ausgestreckte rechte Hand so halte, dass der Daumen dem Gesicht zugekehrt ist, so sehe ich mit dem rechten Auge mehr vom Rücken der Hand, mit dem linken mehr von der Fläche, und ähnlich ist es, so oft wir Körper anblicken, deren verschiedene Theile verschiedene Entfernung von unseren Augen haben. Wenn ich aber eine Hand in der Lage, wie ich die meinige eben betrachtete, in einem Gemälde dargestellt sähe, so würde das rechte, wie das linke Auge genau dieselbe Darstellung sehen, das eine genau ebenso viel, wie das andere, vom Rücken, wie von der Fläche der Hand. Also: die körperlichen Objecte zeigen beiden Augen verschiedene Bilder, ein Gemälde zeigt beiden gleiche Bilder. Darin liegt eine Verschiedenheit des sinnlichen Eindrucks, die auch die grösste Vollkommenheit der Darstellung in einem ebenen Bilde nicht beseitigen kann.

Wie viel nun in der That das Sehen mit zwei Augen und die Verschiedenheit der Bilder beider Augen zur sinnlichen Anschauung der Tiefendimension des Gesichtsfeldes beiträgt, das hat in der augenscheinlichsten Weise Wheatstone's Erfindung des Stereoskops gelehrt. Dies Instrument, und die eigenthümliche Täuschung, die es hervorbringt, darf ich wohl als bekannt voraussetzen. Wir sehen darin die körperliche Form der auf den stereoskopischen Bildern dargestellten Objecte mit der vollen sinnlichen Evidenz, wie wir sie an den Objecten selbst sehen würden, wenn wir diese vor uns hätten. Die Täuschung wird dadurch bewirkt, dass beiden Augen etwas verschiedene Bilder gezeigt werden, und zwar dem rechten Auge eines, was das Object perspectivisch darstellt, wie es von dem angenommenen Standpunkte des rechten Auges, und dem linken eines, wie es vom Standpunkte des linken Auges erscheinen würde. Sind die Bilder übrigens gut und genau ausgeführt, zum Beispiel durch photographische Aufnahme des Objects von zwei verschiedenen Standpunkten aus, so erhalten wir, in das Stereoskop blickend, nun in der That ganz denselben Gesichtseindruck, den uns das Object selbst gewähren würde, abgesehen von der Färbung.

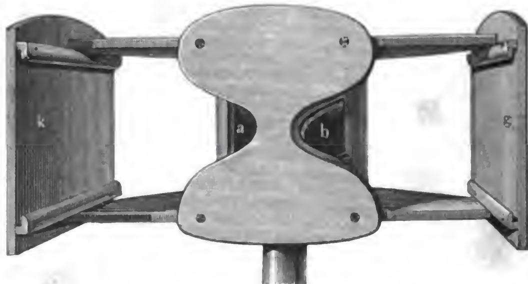
Um zwei stereoskopische Bilder zu einer körperlichen Anschauung zu combiniren, ist für Jemanden, der seine Augenbewegungen hinreichend zu beherrschen weiss, gar kein Instrument

Digitized by Google

nöthig. Man muss nur die Augen so zu richten wissen, dass beide gleichzeitig entsprechende Punkte beider Bilder fixiren. Bequemer aber wird es mit Hilfe von Instrumenten, welche die beiden Bilder scheinbar an denselben Ort verlegen.

In dem ursprünglichen Instrumente von Wheatstone, dargestellt in Fig. 49, blickte das rechte Auge des Beobachters in den Spiegel *b*, das linke in den Spiegel *a*. Beide Spiegel standen

Fig. 49.



schräg gegen die Gesichtslinien des Beobachters und die beiden Bilder waren bei *g* und *k* seitlich so aufgestellt, dass beide Spiegelbilder derselben scheinbar an denselben Ort hinter die beiden Spiegel fielen. Das rechte Auge aber sah in seinem Spiegel das ihm zugehörige Bild, das linke ebenso das andere Bild in dem anderen Spiegel.

Bequemer, wenn auch weniger scharf in den Bildern ist das gewöhnliche Prismenstereoskop von Brewster, dargestellt in Fig. 50. Hier befinden sich die beiden Bilder neben einander auf einem Blatte, und werden in den unteren Theil des Stereoskops gelegt, welches einen durch eine Scheidewand *S* in zwei Hälften getheilten Kasten bildet. Oben sind zwei schwach prismatische Gläser mit convexen Flächen angebracht, welche die Bilder etwas entfernter, etwas grösser und gleichzeitig scheinbar gegen die Mitte des Kastens hin verschoben sehen lassen. Die Figur 51, welche einen Durchschnitt des oberen Theils des Instrumentes darstellt, lässt in *L* und *R* die Durchschnitte der beiden prismatischen Gläser sehen. So kommen für den Beschauer auch hier beide Bilder wieder scheinbar an denselben Ort in der Mittelebene des Kastens zu liegen, und jedes Auge sieht allein das ihm zugehörige Bild.

Am augenfälligsten ist die stereoskopische Täuschung da, wo uns die übrigen Hilfsmittel für die Erkennung der körperlichen Form in Stich lassen, einmal bei geometrischen Linienfiguren, zum

Digitized by Google

Beispiel Abbildungen von Krystallmodellen; dann auch bei Darstellungen ganz unregelmässiger Körper, namentlich wenn dieselben durchscheinend und deshalb nicht in der uns geläufigen Weise undurchsichtiger Körper beschattet sind. So zeigen denn zum Beispiel stereoskopische Photographien von Gletschereisblöcken

Fig. 50.



dem einzelnen Auge oft nur ein unverständliches Gewirr von dunklen und hellen Flecken, während das Stereoskop das von Spalten durchzogene, vom Lichte durchschienene, klare Eis mit seinen glatten glänzenden Flächen in der sinnlichsten Lebendigkeit hervortreten lässt.

Fig. 51.



Schon manches Mal ist es mir so gegangen, dass Gebäude, Städte, Landschaften, die ich aus stereoskopischen Bildern kannte, wenn ich ihnen zum ersten Male wirklich gegenüberstand, nicht mehr den Eindruck des Neuen machten. Das ist mir früher niemals nach dem Anblicke aller möglichen Abbildungen und Gemälde vorgekommen, weil diese den sinnlichen Eindruck doch immer nur unvollständig wiedergeben können.

Auch ist die Genauigkeit des stereoskopischen Sehens staunenswerth. Dove hat davon eine sehr sinnreiche Anwendung gemacht. Wenn man nämlich zwei Stücke gedruckten Papiers, welche beide mit demselben Buchstabensatze oder derselben Kupferplatte gedruckt, und daher in ihren Formen ganz gleich sind, statt der stereoskopischen Zeichnungen in das Stereoskop bringt, so

Digitized by Google

combiniren sie sich zu dem Bilde einer vollkommen ebenen Fläche, entsprechend dem, was ich vorher über die Gleichheit der beiderseitigen Netzhautbilder eines ebenen Gemäldes gesagt habe. Keine menschliche Geschicklichkeit ist aber im Stande die Buchstaben und Zeichen einer Kupferplatte auf einer zweiten so genau zu copiren, dass nicht Unterschiede zwischen den Abdrücken beider Platten beständen, die genügend sind, um bei stereoskopischer Combination beider Drucke einzelne Buchstaben und Linien vor den anderen hervor-, andere zurücktreten zu lassen. Es ist dies das leichteste Mittel falsche Geldpapiere zu erkennen. Man lege ein verdächtiges mit einem echten zusammen in das Stereoskop und untersuche, ob in dem gemeinsamen Bilde alle Züge in gleicher Ebene erscheinen.

Aber diese Thatsache ist auch für die Theorie des Sehens wichtig, weil sie in sehr schlagender Weise die Lebendigkeit, Sicherheit und Feinheit der durch die Verschiedenheiten beider Netzhautbilder bedingten Tiefenanschauungen lehrt.

Nun kommen wir zu der Frage: Wie ist es möglich, dass zwei verschiedene perspectivische und flächenhafte Netzhautbilder, zwei Bilder von zwei Dimensionen, sich vereinigen in ein körperliches Anschauungsbild, ein Bild von drei Dimensionen?

Zunächst ist zu constatiren, dass wir die zwei flächenhaften Bilder, welche uns beide Augen geben, wirklich auch unterscheiden können. Wenn ich meinen ausgestreckten Finger vor mich hinhalte und nach der gegenüberliegenden Wand blicke, so deckt der Finger jedem Auge einen anderen Theil der Wand, wie ich vorher schon erwähnte, ich sehe also den Finger zwei Mal, vor zwei verschiedenen Stellen der Wand; und wenn ich diese einfach sehe, so sehe ich ein Doppelbild des Fingers.

Beim gewöhnlichen Sehen nun, wo wir auf die Körperform der gesehenen Dinge achten, bemerken wir diese Doppelbilder gar nicht, oder wenigstens nur in sehr auffallenden Fällen. Um sie zu sehen, müssen wir das Gesichtsfeld in anderer Weise betrachten, nämlich so, wie ein Zeichner es thut, der es nachzeichnen will. Ein solcher sucht die wirkliche Form, Grösse, Entfernung der Gegenstände, die er darstellen will, zu vergessen. Er sucht sie nur so zu sehen, wie sie flächenhaft im Gesichtsfelde erscheinen, um sie dann wieder auf der Fläche der Zeichnung ebenso darzustellen. Man sollte denken, das wäre die einfachere und ursprünglichere Art des Sehens; auch ist sie von den meisten Physiologen bisher als die durch unmittelbare Empfindung gege-

Digitized by Google

bene Anschauungsform betrachtet worden, die Körperanschauung dagegen als eine erlernte, secundäre Art des Sehens, als eine durch Erfahrung bedingte Vorstellung. Jeder Zeichner weiss dagegen, wie viel schwerer es ist, die scheinbare Form, unter der die Gegenstände im Gesichtsfelde uns erscheinen, aufzufassen und vergleichend abzumessen, als ihre wahre körperliche Form und Grösse. Die Anschauung der letzteren, die der Zeichner nicht loswerden kann, ist es namentlich, die das Zeichnen nach der Natur am meisten erschwert.

Wenn wir also das Gesichtsfeld in der besonderen Art mit beiden Augen betrachten, wie es der Zeichner thut, und unsere Aufmerksamkeit auf die flächenhaften Formen richten, dann fallen uns in der That die Verschiedenheiten der beiden Netzhautbilder in die Augen; dann erscheinen diejenigen Gegenstände doppelt, welche näher oder ferner als der Fixationspunkt vom Auge liegen, und nicht zu weit seitlich von diesem entfernt sind, um noch eine deutliche Unterscheidung ihrer Lage zuzulassen. Im Anfange erkennt man nur weit auseinander liegende Doppelbilder, bei grösserer Uebung in der Beobachtung derselben auch solche von geringer Differenz der Lage.

Halte ich also zum Beispiel einen Finger in einiger Entfernung von meinem Antlitz und blicke nach der gegenüberstehenden Wand, wobei der Finger, wie schon vorher bemerkt, meinem rechten Auge andere Punkte der Wand deckt als dem linken, so sehe ich, wenn ich beide Augen gleichzeitig öffne, die Wand, deren einen Punkt ich fixire, einfach; zwei verschiedene Stellen der Wand aber mit dem Finger zusammenfallend und von diesem theilweise gedeckt; demgemäss kann der Finger nicht anders als doppelt erscheinen.

Alle diese und ähnliche Erscheinungen, welche die Lage der Doppelbilder eines zweiäugig gesehenen Gegenstandes darbietet, lassen sich auf eine einfache Regel zurückführen, welche von Johannes Müller formulirt worden ist. Zu jedem Punkte einer Netzhaut gehört auf der anderen ein correspondirender Punkt. Im gemeinsamen flächenhaften Gesichtsfelde beider Augen fallen der Regel nach Bilder correspondirender Punkte zusammen, Bilder nicht correspondirender auseinander. Correspondirend sind (von kleinen Abweichungen abgesehen) Punkte beider Netzhäute, welche gleich weit nach rechts oder links, und gleich weit nach oben oder unten vom Fixationspunkte liegen.

Ich habe schon oben erwähnt, dass die nativistische Theorie

Digitized by Google

des Sehens eine vollkommene Verschmelzung solcher Empfindungen voraussetzen muss und vorausgesetzt hat, welche von correspondirenden oder, wie sie Johannes Müller nannte, identischen Punkten aus erregt werden. Diese Annahme fand ihren prägnantesten Ausdruck in der anatomischen Hypothese, dass die zwei Nervenfasern, welche von correspondirenden Stellen beider Netzhäute ausgehen, sich entweder in der Kreuzungsstelle der Sehnerven oder im Gehirn zu einer einzigen vereinigen sollten. Ich bemerke dabei, dass Johannes Müller die Möglichkeit einer solchen mechanischen Erklärung zwar angedeutet, aber sie doch nicht als definitiv angenommen hat. Er wollte sein Gesetz von den identischen Punkten als Ausdruck der Thatsachen betrachtet wissen, und legte nur Gewicht darauf, dass die Localisation ihrer Empfindungen im Gesichtsfeld immer die gleiche sei.

Nun trat aber die Schwierigkeit ein, dass die Unterscheidung der Doppelbilder jedesmal, wo ihre Verschmelzung in die Anschauung eines räumlich ausgedehnten Gegenstandes möglich ist, eine relativ ziemlich ungenaue ist, was in um so auffallenderen Contrast tritt zu der ausserordentlichen Genauigkeit, mit der wir, wie Dove nachgewiesen hat, das stereoskopische Relief beurtheilen. Und doch geschieht das letztere mittels derselben Differenzen der Netzhautbilder, welche der Erscheinung der Doppelbilder zu Grunde liegen. Eine sehr kleine Differenz zweier stereoskopischer Bilder kann genügen, um den Eindruck eines gewölbten Reliefs hervorzubringen, und müsste zwanzig bis dreissig Mal so gross gemacht werden, ehe sie uns in Doppelbildern merklich wird, selbst wenn wir für diese die allersorgfältigste Beobachtung durch einen wohlgeübten Beobachter voraussetzen.

Dazu kommen dann allerlei andere Umstände, die die Wahrnehmung der Doppelbilder bald erschweren, bald erleichtern. Am auffallendsten geschieht das erstere durch die Anschauung des Reliefs. Je lebendiger sich diese aufdrängt, desto schwerer ist es die Doppelbilder zu sehen; daher bei wirklichen Objecten schwerer, als bei ihren stereoskopischen Abbildungen. Erleichtert wird dagegen die Beobachtung, wenn entweder die Färbung und Helligkeit der Linien in beiden Zeichnungen verschieden ist, oder wenn Linien und Punkte in die Zeichnungen hineingesetzt werden, die in beiden correspondirend liegen, und nun durch ihren Gegensatz die mangelnde Uebereinstimmung der benachbarten nicht genau correspondirenden Linien und Punkte herausheben. Alle diese Umstände sollten billiger Weise keinen Einfluss haben, wenn die

Digitized by Google

gleiche Localisation der Empfindung durch irgend welche Verbindung der Nervenleitungen gesetzt wäre.

Dazu kam ferner nach der Erfindung des Stereoskops die Schwierigkeit, die Tiefenwahrnehmungen durch die Differenz der beiden Netzhautbilder zu erklären. Zunächst machte Brücke auf eine Reihe von Thatsachen aufmerksam, welche eine Vereinigung der stereoskopischen Erscheinungen mit der Theorie der angeborenen Identität der Netzhäute möglich zu machen schienen. Beobachten wir den Gang unseres Blicks bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder oder entsprechender Gegenstände, so bemerken wir, dass wir nach einander den verschiedenen Umrisslinien folgen, so dass wir den jedesmal fixirten Punkt einfach sehen, während andere Punkte in Doppelbildern erscheinen. Für gewöhnlich ist unsere Aufmerksamkeit aber auf den fixirten Punkt concentrirt und wir bemerken die Doppelbilder so wenig, dass sie erwachsenen Leuten, die man darauf aufmerksam macht, zuweilen eine ganz neue Erscheinung sind. Da wir nun bei der Verfolgung der Umrisse einer solchen Figur die Augen ungleichmässig hin- und herbewegen, sie bald mehr convergiren, bald mehr divergiren lassen müssen, je nachdem wir anscheinend nähere oder fernere Theile des Umrisses durchlaufen, so könnten diese Ungleichmässigkeiten der Bewegung Veranlassung dazu geben, die Vorstellung von verschiedener Entfernung der gesehenen Linien auszubilden. In der That ist es richtig, dass man durch solche Bewegung des Blicks über eine stereoskopische Linienzeichnung ein viel deutlicheres und genaueres Bild von dem durch sie dargestellten Relief gewinnt, als bei starrem Fixiren eines Punktes; die Ursache hiervon liegt vielleicht einfach darin, dass man bei der Bewegung des Blicks nach einander alle Punkte der Figur direct und daher viel schärfer sieht, als wenn man nur einen direct, die anderen indirect erblickt.

Brücke's Voraussetzung, dass die Tiefenwahrnehmung nur durch und bei der Bewegung des Blicks zu Stande komme, erwies sich aber nicht als stichhaltig den Versuchen von Dove gegenüber, welche zeigten, dass die eigenthümliche Täuschung durch stereoskopische Bilder auch zu Stande komme bei der Beleuchtung mit dem elektrischen Funken. Das Licht eines solchen dauert noch nicht den viertausendsten Theil einer Secunde. Innerhalb eines so kleinen Zeitraums bewegen sich schwere irdische Körper, selbst bei sehr bedeutenden Geschwindigkeiten, so wenig vorwärts, dass sie absolut stillstehend erscheinen. Daher kann während der Dauer des Funkens auch nicht die kleinste merkliche Augenbewe-

Digitized by Google

gung zu Stande kommen, und doch erhalten wir dabei den vollkommenen Eindruck des stereoskopischen Reliefs.

Dass ferner eine solche Verschmelzung der Empfindungen beider Augen, wie sie die anatomische Hypothese voraussetzt, gar nicht stattfindet, zeigt das Phänomen des stereoskopischen Glanzes, was ebenfalls Dove entdeckt hat. Wenn nämlich in einem stereoskopischen Bilde eine Fläche weiss, im anderen aber schwarz ist, so erscheint dieselbe in dem vereinigten Bilde glänzend, selbst, wenn das Papier der Zeichnung ganz stumpf und ohne Glanz ist. Man hat oft stereoskopische Zeichnungen von Krystallmodellen so ausgeführt, dass die eine weisse Linien auf schwarzem Grunde, die andere schwarze Linien auf weissem Grunde zeigt. Das Ganze sieht dann aus, als wäre das Krystallmodell aus glänzendem Graphit gearbeitet. Noch schöner kommt oft auf stereoskopischen Photographien durch dasselbe Mittel der Glanz des Wassers, der Pflanzenblätter u. s. w. zu Stande.

Die Erklärung dieses eigenthümlichen Phänomens ist folgende: Eine matte Fläche, zum Beispiel die von mattem weissem Papier, wirft das auffallende Licht nach allen Richtungen in gleichem Maasse zurück, und sieht deshalb immer gleich hell aus, von welcher Seite man sie auch ansehen mag; eine solche erscheint also auch nothwendig immer beiden Augen gleich hell. Eine glänzende Fläche giebt dagegen ausser dem gleichmässig nach allen Richtungen zerstreuten Lichte auch noch Reflexe, deren Licht nur nach gewissen Richtungen geht. Nun kann das eine Auge von solchem reflectirten Lichte getroffen werden, ohne dass nothwendig das andere getroffen wird. Dann erscheint die reflectirende Fläche dem einen Auge viel heller, als dem anderen; und da dies nur bei glänzenden Körpern vorkommen kann, so glauben wir im stereoskopischen Bilde Glanz zu sehen, wenn wir diesen Eindruck nachahmen.

Käme eine Verschmelzung der Eindrücke beider Netzhautbilder vor, so müsste die Vereinigung von Weiss und Schwarz Grau geben. Dass Weiss und Schwarz, stereoskopisch combinirt, Glanz geben, also einen sinnlichen Eindruck hervorbringen, der durch keinerlei Art von grauen gleichgefärbten Flächen erhalten werden kann, zeigt, dass die Eindrücke der beiden Netzhautbilder nicht in der Empfindung verschmelzen.

Dass der Eindruck des Glanzes auch nicht auf einem Wechsel zwischen dem Eindruck des einen und anderen Auges, oder auf dem sogenannten Wettstreit der Netzhäute beruht, zeigt sich

Digitized by Google

wieder bei der momentanen Beleuchtung solcher Bilder durch den elektrischen Funken. Denn der Eindruck des Glanzes kommt dabei vollkommen zur Erscheinung.

Ja es lässt sich zeigen, dass die Bilder beider Augen nicht nur in der Empfindung nicht verschmelzen, sondern dass die beiden Empfindungen, welche wir von beiden Augen erhalten, nicht einmal gleich sind, vielmehr wohl unterschieden werden. Denn wenn die Empfindung, welche uns das rechte Auge giebt, ununterscheidbar gleich wäre derjenigen, welche das linke giebt, so müsste es wenigstens beim Lichte des elektrischen Funken, wo keine Augenbewegungen der Unterscheidung zu Hülfe kommen können, gleichgültig sein, ob wir das rechte Bild dem rechten, das linke dem linken Auge zeigen, oder umgekehrt das rechte Bild nach links, das linke nach rechts legen. Das ist aber keineswegs gleichgültig; denn wenn wir die Vertauschung ausführen, bekommen wir das umgekehrte Relief des Gegenstandes; was ferner sein sollte, sieht näher aus, was erhaben sein sollte, sieht vertieft aus, und umgekehrt. Da wir nun auch bei der Beleuchtung mit dem elektrischen Funken niemals das richtige Relief mit dem verkehrten verwechseln, so zeigt dies mit Bestimmtheit, dass der Eindruck vom rechten Auge dem des linken nicht ununterscheidbar gleich sei.

Sehr eigenthümlich und interessant endlich sind die Erscheinungen, wenn man beiden Augen gleichzeitig Bilder vorlegt, welche sich nicht zur Anschauung eines Gegenstandes vereinigen lassen. Wenn man zum Beispiel das eine auf ein bedrucktes Blatt, das andere auf einen Kupferstich blicken lässt. Dann tritt nämlich der sogenannte Wettstreit der Sehfelder ein. Man sieht dann nicht beide Bilder gleichzeitig sich deckend, sondern an einzelnen Stellen drängt sich das eine und an anderen das andere hervor. Sind beide Zeichnungen gleich deutlich, so wechseln gewöhnlich nach einigen Secunden die Stellen, wo man das eine oder andere sieht. Bietet aber das eine Bild an einer Stelle des Gesichtsfeldes gleichmässigen weissen oder schwarzen Grund ohne Unterbrechung, das andere ebendaselbst markirte Umrisse, so herrschen in der Regel die letzteren dauernd vor und unterdrücken die Wahrnehmung des gleichmässigen Grundes. Ich muss jedoch, den gegentheiligen Angaben früherer Beobachter entgegen, hervorheben, dass man diesen Wettstreit durch willkührliche Richtung der Aufmerksamkeit jeder Zeit beherrschen kann. Wenn man die Buchstaben zu lesen versucht, so bleiben dauernd die Buchstaben stehen, wenigstens da, wo man eben zu lesen hat. Sucht man im

Digitized by Google

Gegentheil der Schraffirung und den Umrissen des Kupferstichs zu folgen, so treten diese dauernd hervor. Ich finde ferner, dass man die Aufmerksamkeit unter solchen Umständen auf ein ganz schwach beleuchtetes Object fesseln, und ein deckendes viel helleres, was im Netzhautbilde des anderen Auges steht, dafür verdrängen kann, zum Beispiel die Faserung einer gleichmässig weissen reinen Papierfläche verfolgen, und starke schwarze Zeichnungen des anderen Feldes dabei verdrängen kann. Der Wettstreit entspricht also nicht dem Vorherrschen oder Schwanken einer Empfindung, sondern der Fesselung oder dem Schwanken der Aufmerksamkeit. Es ist vielleicht kein Phänomen so geeignet wie dieses, um die Motive zu studiren, welche geeignet sind, die Aufmerksamkeit zu lenken. Es genügt nicht bloss die bewusste Absicht dazu, jetzt mit dem einen Auge zu sehen, dann mit dem anderen, sondern man muss sich eine möglichst deutliche sinnliche Vorstellung hervorrufen von dem, was man zu sehen wünscht. Dann tritt dies auch in der Erscheinung hervor. Ueberlässt man aber den Vorstellungslauf sich selbst, ohne ihn durch eine bestimmte Absicht zu fesseln, so tritt eben unwillkührlich jenes Schwanken ein, welches man mit dem Namen des Wettstreites belegt. Dabei siegen dann in der Regel sehr helle und stark gezeichnete Objecte über dunklere und schwach unterscheidbare im anderen Felde, entweder dauernd oder für längere Zeit wenigstens.

Ja selbst, wenn man vor beide Augen verschiedenfarbige Gläser hält, und durch sie nach den gleichen Objecten des Gesichtsfeldes sieht, tritt ein ähnlicher Wettstreit zwischen den Farben ein, indem fleckweise bald die eine, bald die andere hervortritt; erst nach einiger Zeit, wenn die Lebhaftigkeit der Farben in beiden Augen durch die eintretende einseitige Ermüdung und die von ihr hervorgebrachten complementären Nachbilder geschwächt ist, beruhigt sich der Wechsel, und man sieht dann eine Art von Mischfarbe aus den beiden ursprünglichen Farben.

Auf die eine oder andere Farbe ist es viel schwerer die Aufmerksamkeit zu fixiren, als auf verschiedene Muster, die man zum Wettstreit gebracht hat. Denn die Aufmerksamkeit lässt sich eben nur dann auf einen sinnlichen Eindruck dauernd fixiren, wenn man fortdauernd etwas Neues daran zu verfolgen findet. Aber man kann nachhelfen, wenn man von der dem Auge zugekehrten Seite der Glasplatten Buchstaben oder Linienmuster spiegeln lässt, und auf diese die Aufmerksamkeit fixirt. Diese Spiegelbilder sind weiss, und nicht farbig; sobald man aber auf eines derselben die

Digitized by Google

Aufmerksamkeit fixirt, tritt auch die entsprechende Farbe des Grundes in die Wahrnehmung ein.

Ueber diese den Wettstreit der Farben betreffenden Versuche hat ein sonderbarer Streit zwischen den besten Beobachtern geherrscht, dessen Möglichkeit auch für die Art dieses Vorganges charakteristisch ist. Ein Theil der Beobachter — und unter ihnen finden wir die Namen von Dove, Regnault, Brücke, Ludwig, Panum, Hering — behaupten bei binocularer Combination zweier Farben deren Mischfarbe zu sehen. Andere, wie H. Meyer in Zürich, Volkmann, Meissner, Funke, erklären ebenso bestimmt, nie die Mischfarbe gesehen zu haben. Ich selbst muss mich durchaus den letzteren anschliessen, und eine sorgfältige Prüfung derjenigen Fälle, wo etwa der Anschein entstehen konnte, als sähe ich die Mischfarbe, hat mir immer gezeigt, dass ich Contrasterscheinungen vor mir hatte. Jedes Mal, wenn ich die wirkliche Mischfarbe neben die binoculare Farbenmischung brachte, zeigte sich mir der Unterschied beider vollkommen deutlich. Andererseits kann wohl kein Zweifel sein, dass die erstgenannten Beobachter gesehen haben, was sie zu sehen angeben, und dass hier also wirklich eine grosse individuelle Verschiedenheit besteht. In gewissen Fällen, die Dove gerade als besonders geeignet empfiehlt (binoculare Verbindung complementärer Polarisationsfarben zu Weiss), konnte ich selbst auch nicht den geringsten Schein einer Mischung erhalten.

Diese auffällige Verschiedenheit bei einer verhältnissmässig so einfachen Beobachtung scheint mir von grösstem Interesse zu sein, und eine merkwürdige Bestätigung für die oben besprochene Voraussetzung der empiristischen Theorie zu geben, dass als örtlich getrennt im Allgemeinen nur solche Empfindungen angeschaut werden, die sich durch willkührliche Bewegungen von einander trennen lassen. Auch wenn wir mit einem Auge eine gemischte Farbe sehen, entstehen nach Th. Young's Theorie drei verschiedene Empfindungen neben einander; diese sind aber bei keiner Bewegung des Auges von einander zu trennen, sondern bleiben immer in gleicher Weise local vereinigt. Und doch haben wir gesehen, dass auch für diese ausnahmsweise eine Trennung in der Anschauung zu Stande kommt, sobald der Schein entsteht, dass ein Theil der Farbe einer durchsichtigen farbigen Decke angehört. Bei der Beleuchtung zweier correspondirenden Netzhautstellen mit verschiedenen Farben wird eine Trennung derselben beim gewöhnlichen Sehen zwar nicht oft vorkommen, und wenn sie vorkommt, meist in die nicht beachteten Theile des Gesichtsfeldes fallen.

Digitized by Google

Aber eine solche Trennung in zwei sich einigermaassen unabhängig von einander bei den Augenbewegungen bewegende Bestandtheile ist doch angebahnt, und es wird von dem Grade der Aufmerksamkeit abhängen, den der Beobachter dem indirect gesehenen Theile des Gesichtsfeldes und den vorkommenden Doppelbildern zuzuwenden pflegt, ob er mehr oder weniger gut gelernt haben wird, die Farben, welche gleichzeitig beide Netzhäute treffen, von einander zu trennen oder nicht zu trennen. Monoculare und binoculare Farbenmischung erregen mehrere Farbenempfindungen gleichzeitig und mit gleicher Localisation derselben im Gesichtsfelde. Der Unterschied in der Anschauung besteht nur darin, dass wir entweder diesen Complex von Empfindungen unmittelbar als ein zusammengehöriges Ganze auffassen, ohne es weiter in seine Theile zu zerlegen, oder ob wir eine gewisse Uebung gewonnen haben, die Theile, aus denen es besteht, zu erkennen und von einander zu trennen. Ersteres thun wir überwiegend, aber doch nicht immer, bei der monocularen Farbenmischung; zu letzterem sind wir geneigter bei der binocularen Mischung. Da aber diese Neigung sich wesentlich stützen muss auf die durch frühere Beobachtung erlangte Uebung der Unterscheidung, so ist zu verstehen, warum sie so grosse individuelle Eigenthümlichkeiten zeigt.

Achtet man auf den Wettstreit bei der Verbindung zweier stereoskopischer Zeichnungen, von denen die eine mit schwarzen Linien auf weissem, die andere mit weissen Linien auf schwarzem Grunde ausgeführt ist, so zeigt sich, dass die nahe correspondirend liegenden weissen und schwarzen Linien immer neben einander sichtbar bleiben, was nur geschehen kann, indem auch gleichzeitig das Weiss des einen Grundes und das Schwarz des anderen stehen bleibt. Dadurch entsteht auf dem scheinbar graphitähnlich glänzenden Grunde eine viel ruhigere Art des Eindrucks, als während eines Wettstreits zu Stande kommt, wie ihn ganz differente Zeichnungen hervorbringen. Am schönsten sieht man dies, wenn man neben die schwarze Hälfte der Zeichnung noch ein bedrucktes weisses Blatt legt, so dass der schwarze Grund nach der einen Seite hin Glanz, nach der anderen Seite hin, binocular sich deckend, Wettstreit giebt. So lange man der Gestalt des dargestellten Objects seine Aufmerksamkeit zuwendet, und dies mit dem Blicke überläuft, sind die verschiedenfarbigen Contourlinien die gemeinsamen Führer des Fixationspunktes, und die Fixation kann nur dadurch erhalten bleiben, dass man fortdauernd beiden folgt. Daher muss man beide mit der Aufmerksamkeit festhalten, und

Digitized by Google

dabei bleibt denn auch der Eindruck beider in gleichmässiger Weise neben einander bestehen. Es giebt kein besseres Mittel, den combinirten Eindruck beider Bilder dauernd festzuhalten, als das hier erwähnte. Man kann auch wohl sonst für kurze Zeit bei sich deckenden unähnlichen Zeichnungen beide theilweise combinirt sehen, indem man auf die Art, wie sie sich decken, unter welchen Winkeln ihre Linien sich schneiden u. s. w., achtet. Aber so wie dann die Aufmerksamkeit einer dieser Linien sich zuwendet, verschwindet das andere Feld, dem diese Linie nicht angehört.

Wenn wir nun noch einmal auf die das zweiäugige Sehen betreffenden Thatsachen zurückblicken, so finden wir:

1) Die Erregungen correspondirender Stellen beider Netzhäute werden nicht in einen Eindruck ununterscheidbar verschmolzen, denn sonst wäre es nicht möglich, stereoskopischen Glanz zu sehen. Dass dieses Phänomen nicht aus dem Wettstreit zu erklären ist, selbst wenn man diesen als einen Vorgang der Empfindung, nicht der Aufmerksamkeit ansehen wollte, dass es im Gegentheil mit einer Hemmung des Wettstreits verbunden ist, ist oben nachgewiesen.

2) Die Empfindungen, welche von Erregung correspondirender Netzhautstellen herrühren, sind nicht ununterscheidbar gleich; denn sonst würde es nicht möglich sein, bei momentaner Beleuchtung das richtige Relief eines stereoskopischen Bildes von dem pseudoskopischen zu unterscheiden.

3) Die Verschmelzung der beiden verschiedenen Empfindungen von correspondirenden Stellen kommt auch nicht dadurch zu Stande, dass eine derselben zeitweilig unterdrückt wird; denn die zweiäugige Tiefenwahrnehmung beruht ja nur darauf, dass beide verschiedene Bilder gleichzeitig zum Bewusstsein kommen. Eine solche Tiefenwahrnehmung ist aber möglich bei festliegendem Netzhautbilde und bei momentaner Beleuchtung.

Wir erkennen also durch diese Untersuchung, dass von beiden Augen her gleichzeitig zwei unterscheidbare Empfindungen unverschmolzen zum Bewusstsein kommen, und dass also ihre Verschmelzung zu dem einfachen Anschauungsbilde der körperlichen Welt nicht durch einen vorgebildeten Mechanismus der Empfindung, sondern durch einen Act des Bewusstseins geschehen muss.

4) Wir finden ferner, dass die übereinstimmende Localisation der Gesichtseindrücke von correspondirenden Netzhautstellen im Gesichtsfelde zwar im Ganzen gleich oder wenigstens nahehin gleich

Digitized by Google

ausfällt, dass aber die Vorstellung, welche beide Eindrücke auf dasselbe einfache Object bezieht, jene Gleichheit erheblich stören kann. Wäre jene Gleichheit der Localisation durch einen unmittelbaren Act der Empfindung gegeben, so würde diese Empfindung nicht durch eine entgegenstehende Vorstellung aufgehoben werden können. Etwas Anderes ist es, wenn die Gleichheit der Localisation correspondirender Bilder auf dem Augenmaass, das heisst einer durch Erfahrung eingeübten Abschätzung der Distanzen, also einer erworbenen Kenntniss der Bedeutung der Localisationszeichen beruht. Dann kämpft nur eine Erfahrung gegen die andere; dann ist es begreiflich, dass die Vorstellung, wonach zwei Gesichtsbilder demselben Objecte angehören, auf die Abschätzung ihrer beiderseitigen Lage mittels des Augenmaasses Einfluss gewinnt, und dass in Folge dessen ihre Entfernungen vom Fixationspunkte in der Fläche des Gesichtsfeldes als gleich angesehen werden, trotzdem sie nicht genau gleich sind.

Es folgt aber auch weiter, dass wenn die Gleichheit der Localisation correspondirender Stellen in beiden Gesichtsfeldern nicht auf der Empfindung beruht, auch die ursprüngliche Vergleichung verschiedener Distanzen in jedem einzelnen Gesichtsfelde nicht auf unmittelbarer Empfindung beruhen kann. Denn wäre eine solche gegeben, so müsste nothwendig auch die Uebereinstimmung beider Felder in unmittelbarer Empfindung vollständig gegeben sein, sobald nur die Identität der beiden Fixationspunkte und die Uebereinstimmung von nur einem Meridian mit dem correspondirenden des anderen Auges festgestellt wäre.

Der Leser sieht, wie wir durch diese Verkettung der Thatsachen in die empiristische Theorie nothwendig hineingetrieben werden. Ich muss dabei erwähnen, dass in neuerer Zeit noch Versuche gemacht worden sind, das Zustandekommen der Tiefenwahrnehmung und die Erscheinungen des binocularen Einfach- und Doppeltsehens durch die Annahme präformirter Mechanismen zu erklären. Diese Versuche, auf deren Kritik ich an dieser Stelle nicht weiter eingehen kann, weil eine solche uns in zu verwickelte Specialitäten hineinführen würde, sind trotz ihrer zum Theil sehr künstlichen und gleichzeitig sehr unbestimmten und dehnbaren Voraussetzungen bisher immer noch daran gescheitert, dass die wirkliche Welt unendlich viel reichere Verhältnisse darbietet, als jene zu berücksichtigen im Stande waren. So kommt es denn, dass wenn dergleichen Systeme irgend einem bestimmten Falle des Sehens angepasst sind, und von diesem eine Erklärung zu geben

Digitized by Google

behaupten, sie auf alle anderen nicht passen. Dann muss die sehr bedenkliche Annahme aushelfen, dass in diesen anderen Fällen die Empfindung durch die ihr entgegenstehende Erfahrung ausgelöscht und besiegt werde. Wohin sollte es aber mit unseren Wahrnehmungen kommen, wenn wir Empfindungen unter Umständen, wo sie sich auf das Object unserer Aufmerksamkeit beziehen, entgegenstehenden Vorstellungen zu lieb auslöschen könnten? Und jedenfalls ist klar, dass in einem jeden solchen Falle, wo die Erfahrung schliesslich entscheiden muss, die Bildung der richtigen Anschauung unter ihrer Hilfe sehr viel leichter von Statten gehen wird, wenn keine entgegenstehenden Empfindungen da sind, die besiegt werden müssen, als wenn das richtige Urtheil gegen deren Einfluss gewonnen werden muss.

Dazu kommt nun, dass diese Hypothesen, welche man in den verschiedenen Formen der nativistischen Theorien nach einander den Erscheinungen anzupassen versucht hat, vollkommen unnöthig sind. Es ist bisher noch keine Thatsache bekannt, welche unvereinbar mit der empiristischen Theorie wäre, in der wir gar keine unnachweisbaren anatomischen Structuren, keine ganz unerhörten Arten physiologischer Thätigkeit der Nervensubstanz anzunehmen brauchen, in der wir nichts voraussetzen, als die durch die tägliche Erfahrung ihren wesentlichen Gesetzen nach wohl bekannten Associationen der Anschauungen und Vorstellungen. Es ist wahr, dass eine vollständige Erklärung der psychischen Thätigkeiten noch nicht, und wahrscheinlich auch nicht so bald in der Zukunft zu geben ist. Aber da diese Thätigkeiten factisch bestehen, und da bisher auch noch keine Form der nativistischen Theorien vermeiden konnte, auf ihre Wirksamkeit zurück zu greifen, wo andere Erklärungsversuche scheiterten, wird man auch vom Standpunkte des Naturforschers aus die Geheimnisse des Seelenlebens nicht als Mängel unserer Theorie des Sehens betrachten dürfen.

Es ist nicht möglich, im Gebiete der Raumanschauungen irgendwo eine Grenze zu ziehen, um einen Theil, der der unmittelbaren Empfindung angehöre, von einem anderen Theile zu trennen, der erst durch Erfahrung gewonnen sei. Wo man auch diese Grenze zu ziehen versucht, immer finden sich dann die Fälle, wo die Erfahrung sich als genauer, unmittelbarer und bestimmter ausweist, als die angebliche Empfindung, und letztere besiegt. Nur die eine Annahme führt in keine Widersprüche, die der empiristischen Theorie, welche alle Raumanschauung als auf Erfahrung beruhend betrachtet, und voraussetzt, dass auch die Localzeichen

Digitized by Google

unserer Gesichtsempfindungen ebenso wie deren Qualitäten an und für sich nichts als Zeichen sind, deren Bedeutung wir zu lesen erst lernen müssen.

Wir lernen sie aber lesen, indem wir sie mit dem Erfolge unserer Bewegungen und den Veränderungen, die wir selbst durch diese in der Aussenwelt hervorbringen, vergleichen. Das Kind fängt zuerst an mit seinen Händen zu spielen; es giebt eine Zeit, wo es diese und seine Augen noch nicht nach einem glänzenden oder farbigen Gegenstande, der seine Aufmerksamkeit erregt, hinzuwenden weiss. Später greift es nach Gegenständen, wendet diese immer wieder um und um, besieht, betastet, beleckt sie von allen Seiten. Die einfachsten sind ihm die liebsten; das primitivste Spielzeug macht immer mehr Glück als die raffinirtesten Erfindungen moderner Industrie in diesem Fache. Wenn das Kind dann Wochen lang — jeden Tag eine Weile — ein solches Stück immer wieder betrachtet hat, und es schliesslich in allen seinen perspectivischen Bildern kennt, wirft es das erste weg und greift nach anderen Formen. So lernt es gleichzeitig die verschiedenen Gesichtsbilder kennen, die derselbe Gegenstand giebt, in Verbindung mit den Bewegungen, welche seine Händchen dem Object geben können. Die anschauliche Vorstellung von der räumlichen Form eines Gegenstandes, die in solcher Weise gewonnen wird, ist der Inbegriff von allen diesen Gesichtsbildern. Wenn wir ein genaues Anschauungsbild der Form von irgend welchem Objecte gewonnen haben, sind wir in der That im Stande uns daraus durch unsere Einbildungskraft herzuleiten, welchen Anblick das Object uns gewähren wird, wenn wir es von dieser oder jener Seite betrachten, so oder so drehen. Alle diese einzelnen Anschauungsbilder sind zusammenbegriffen in der Vorstellung von der körperlichen Form des Objects, und können aus ihr wieder hergeleitet werden, zugleich mit der Vorstellung derjenigen Bewegungen, die wir ausführen müssen, um die einzelnen Formen des Anblicks wirklich zu erhalten.

Ein sehr auffallender Beleg dafür hat sich mir oft bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder geboten. Wenn man zum Beispiel verwickelte Linienzeichnungen von sehr zusammengesetzten Krystallformen betrachtet, wird es anfangs oft schwer sie zu vereinigen. Dann pflege ich mir zunächst in den Bildern zwei Punkte zu suchen, die zusammengehören, und bringe sie durch willkührliche Bewegung der Augen zur Deckung; aber so lange ich noch nicht verstanden habe, was für eine Art von Form die

Digitized by Google

Bilder vorstellen sollen, fahren meine Augen immer wieder aus einander, und die Deckung hört auf. Nun suche ich mit dem Blick den verschiedenen Linien der Figur zu folgen; plötzlich geht mir das Verständniss der Körperform auf, welche dargestellt ist, und von dem Augenblick ab gleiten meine beiden Gesichtslinien ohne die mindeste Schwierigkeit an den Umrisslinien des scheinbar vorhandenen Körpers hin und her, ohne jemals wieder aus einander zu kommen. So wie die richtige Vorstellung der Körperform aufgetaucht ist, ist damit auch die Regel für die bei der Betrachtung dieses Körpers zusammengehörigen Augenbewegungen gefunden. Indem wir diese Bewegungen ausführen, und die erwarteten Gesichtsbilder erhalten, übersetzen wir unsere Vorstellung gleichsam wieder zurück in das Gebiet der realen Welt, und erproben, ob die Rückübersetzung mit dem Originale zusammenstimmt, um uns so durch das Experiment von der Richtigkeit unserer Vorstellung zu überzeugen.

Ich glaube, dass namentlich dieser letztere Punkt wohl zu berücksichtigen ist. Die Deutung unserer Sinnesempfindungen beruht auf dem Experiment und nicht auf blosser Beobachtung äusseren Geschehens. Das Experiment lehrt uns, dass die Verbindung zwischen zwei Vorgängen in jedem von uns gewählten beliebigen Augenblicke bestehe, unter übrigens von uns beliebig abgeänderten Verhältnissen. Die Zusammengehörigkeit der beiden Vorgänge bewährt sich dadurch unmittelbar als constant in der Zeit, da wir sie in jedem beliebigen Augenblicke prüfen können. Blosse Beobachtung gewährt uns kaum je dieselbe Sicherheit der Kenntniss, trotz noch so häufiger Wiederholung unter vielfach veränderten Umständen. Denn sie lehrt uns wohl, dass die Vorgänge, um deren Zusammengehörigkeit es sich handelt, oft oder bisher immer zusammen eingetreten sind, nicht aber, dass sie zu jeder beliebigen von uns gewählten Zeit eintreten. Selbst wenn wir die Beispiele methodisch vollendeter wissenschaftlicher Beobachtung überblicken, wie sie die Astronomie, Meteorologie, Geologie darbietet, so finden wir, dass wir nur dann uns über die Ursachen der betreffenden Erscheinungen sicher fühlen, wenn dieselben Kräfte auch in unseren Laboratorien durch das Experiment nachgewiesen werden können. Wir haben durch die nicht experimentellen Wissenschaften noch keine einzige neue Kraft kennen gelernt. Ich glaube, dass diese Thatsache nicht ohne Bedeutung ist.

Es ist klar, dass wir durch die in der beschriebenen Weise

Digitized by Google

gesammelten Erfahrungen über die Bedeutung der sinnlichen Zeichen alles das lernen können, was sich nachher an der Erfahrung wieder prüfen lässt, also den ganzen wahrhaft reellen Inhalt unserer Anschauungen. Es war hierbei bisher vorausgesetzt, dass wir durch den Tastsinn schon eine Anschauung von Raum und Bewegung gewonnen hätten. Zunächst erfahren wir natürlich unmittelbar nur, dass wir durch die Willensimpulse Veränderungen hervorbringen, die wir durch den Tastsinn und Gesichtssinn wahrnehmen. Die meisten dieser Aenderungen, die wir willkührlich hervorbringen, sind nur Raumänderungen, d. h. Bewegungen; es können freilich auch andere, Aenderungen an den Dingen selbst, dadurch bewirkt werden. Können wir nun die Bewegungen unserer Hände und Augen als Raumänderungen erkennen, ohne dies vorher zu wissen, und von anderen Aenderungen, welche die Eigenschaften der Dinge betreffen, unterscheiden? Ich glaube, ja! Es ist ein wesentlich unterscheidender Charakter der Raumbeziehungen, dass sie veränderliche Beziehungen zwischen den Substanzen sind, die nicht von deren Qualität und Masse abhängen, während alle anderen reellen Beziehungen zwischen den Dingen von deren Eigenschaften abhängen. Bei den Gesichtswahrnehmungen bewährt sich dies nun unmittelbar und am leichtesten. Eine Augenbewegung, die eine Verschiebung des Netzhautbildes auf der Netzhaut hervorbringt, bringt bei gleicher Wiederholung dieselbe Reihe von Veränderungen hervor, welches auch der Inhalt des Gesichtsfeldes sein mag; sie bewirkt, dass die Eindrücke, welche bisher die Localzeichen a_0, a_1, a_2, a_3 hatten, die neuen Localzeichen b_0, b_1, b_2, b_3 bekommen; und dies kann stets in gleicher Weise geschehen, welches auch die Qualitäten dieser Eindrücke sein mögen. Dadurch sind diese Veränderungen charakterisirt als von der eigenthümlichen Art, welche wir eben Raumveränderungen nennen. Der empirischen Aufgabe ist hiermit Genüge geleistet, und wir brauchen uns auf die Discussion der Frage, wieviel a priori, wieviel a posteriori von der allgemeinen Anschauung des Raums gegeben sei, hier nicht weiter einzulassen.

Ein Anstoss für die empirische Theorie könnte darin gefunden werden, dass Sinnestäuschungen möglich sind. Denn wenn wir die Deutung unserer Empfindungen aus der Erfahrung gelernt haben, müsste sie auch immer mit der Erfahrung übereinstimmen. Die Erklärung für die Möglichkeit der Sinnestäuschungen liegt darin, dass wir die Vorstellungen von den äusseren Dingen, welche bei normaler Beobachtungsweise richtig sein würden, uns auch dann

Digitized by Google

bilden, wenn ungewöhnliche Umstände die Netzhautbilder geändert haben. Was ich hier die normale Beobachtungsweise nenne, erstreckt sich nicht nur darauf, dass die Lichtstrahlen geradlinig von dem leuchtenden Punkte bis an unsere Hornhaut gelangen müssen, sondern schliesst auch ein, dass wir unsere Augen so gebrauchen, wie sie gebraucht werden müssen, um die deutlichsten und am besten unterscheidbaren Bilder zu erhalten. Dazu gehört, dass wir die einzelnen Punkte der Umrisslinien des betrachteten Objects nach einander auf den Centren beider Netzhäute abbilden, und dabei diejenige Art der Augenbewegungen ausführen, welche die sicherste Vergleichung der verschiedenen Augenstellungen zulässt. Jede Abweichung von einer dieser Bedingungen bringt Täuschungen hervor. Am längsten bekannt sind unter diesen diejenigen, welche eintreten, wenn die Lichtstrahlen vor ihrem Eintritt in das Auge eine Brechung oder Spiegelung erleiden. Aber auch mangelhafte Accommodation, während man durch eine oder zwei feine Oeffnungen sieht, unpassende Convergenz bei einäugigem Sehen, Verschiebung des Augapfels durch Druck mit dem Finger oder Muskellähmung können Irrthümer über die Lage der gesehenen Objecte verursachen. Ferner können Täuschungen dadurch eintreten, dass gewisse Elemente der Empfindung nicht sehr genau unterschieden werden, dazu gehört namentlich der Grad der Convergenz der Augen, dessen Beurtheilung wegen der leicht eintretenden Ermüdung der dazu wirkenden Muskeln unsicher ist. Die einfache Regel für alle diese Täuschungen ist immer die: wir glauben stets solche Objecte vor uns zu sehen, wie sie vorhanden sein müssten, um bei normaler Beobachtungsweise dieselben Netzhautbilder hervorzubringen. Sind diese Bilder aber von der Art, dass sie bei keiner normalen Beobachtungsweise entstehen könnten, so urtheilen wir nach der nächstliegenden Aehnlichkeit mit einer solchen, wobei wir die unsicher wahrgenommenen Elemente der Empfindung leichter vernachlässigen, als die sicher wahrgenommenen. Sind mehrere Deutungen gleich naheliegend, so schwanken wir zwischen diesen meist unwillkührlich hin und her. Aber auch dieses Schwanken kann man beherrschen, wenn man absichtlich sich die Vorstellung des gewünschten Bildes möglichst anschaulich vor dem inneren Sinne hervorzurufen strebt.

Es sind dies offenbar Vorgänge, die man als falsche Inductionsschlüsse bezeichnen könnte. Freilich sind es aber Schlüsse, bei denen man nicht in bewusster Weise die früheren Beobachtun-

Digitized by Google

gen ähnlicher Art sich aufzählt und zusammen auf ihre Berechtigung, den Schluss zu begründen, prüft. Ich habe sie deshalb schon früher als unbewusste Schlüsse bezeichnet, und diese Bezeichnungsweise, die auch von anderen Vertheidigern der empiristischen Theorie angenommen worden ist, hat viel Widerspruch und Anstoss erregt, weil nach der gewöhnlich gegebenen psychologischen Darstellungsweise ein Schluss gleichsam der Gipfelpunkt in der Thätigkeit unseres bewussten Geisteslebens ist. Dagegen sind nun in der That die Schlüsse, welche in unseren Sinneswahrnehmungen eine so grosse Rolle spielen, niemals in der gewöhnlichen Form eines logisch analysirten Schlusses auszusprechen, und man muss von den gewöhnlich betretenen Pfaden der psychologischen Analyse etwas seitab gehen, um sich zu überzeugen, dass man es hierbei wirklich mit derselben Art von geistiger Thätigkeit zu thun hat, die in den gewöhnlich so genannten Schlüssen wirksam ist.

Der Unterschied zwischen den Schlüssen der Logiker und den Inductionsschlüssen, deren Resultat in den durch die Sinnesempfindungen gewonnenen Anschauungen der Aussenwelt zu Tage kommt, scheint mir in der That nur ein äusserlicher zu sein, und hauptsächlich darin zu bestehen, dass jene ersteren des Ausdrucks in Worten fähig sind, letztere nicht, weil bei ihnen statt der Worte nur die Empfindungen und die Erinnerungsbilder der Empfindungen eintreten. Eben darin, dass die letzteren sich nicht in Worten beschreiben lassen, liegt aber auch die grosse Schwierigkeit, von diesem ganzen Gebiete von Geistesoperationen überhaupt nur zu reden.

Neben dem Wissen, welches mit Begriffen arbeitet, und deshalb des Ausdrucks in Worten fähig ist, besteht noch ein anderes Gebiet der Vorstellungsfähigkeit, welches nur sinnliche Eindrücke combinirt, die des unmittelbaren Ausdrucks durch Worte nicht fähig sind. Wir nennen es im Deutschen das Kennen. Wir kennen einen Menschen, einen Weg, eine Speise, eine riechende Substanz, das heisst wir haben diese Objecte gesehen, geschmeckt oder gerochen, halten diesen sinnlichen Eindruck im Gedächtniss fest und werden ihn wieder erkennen, wenn er sich wiederholt, ohne dass wir im Stande wären uns oder anderen eine Beschreibung davon in Worten zu geben. Dessen ungeachtet ist es klar, dass dieses Kennen den allerhöchsten Grad von Bestimmtheit und Sicherheit haben kann, und in dieser Beziehung hinter keinem in Worten ausdrückbaren Wissen zurücksteht. Aber es ist nicht direct mittheilbar, wenn nicht die betreffenden Objecte zur Stelle ge-

Digitized by Google

schafft, oder deren Eindruck anderweitig nachgeahmt werden kann, wie zum Beispiel für einen Menschen durch sein Portrait.

Eine wichtige Seite des Kennens ist es, die Muskelinnervationen zu kennen, die wir anwenden müssen, um irgend einen Erfolg durch Bewegung unserer Körpertheile zu erreichen. Wir wissen alle, dass wir als Kinder das Gehen lernen müssen; dass wir später lernen auf Stelzen oder Schlittschuhen zu gehen, oder zu reiten, zu schwimmen, zu singen, neue Buchstaben fremder Sprachen auszusprechen u. s. w. Durch Beobachtung von Säuglingen erkennt man auch, dass sie eine ganze Reihe von Dingen lernen müssen, von denen wir uns später gar nicht mehr vorstellen können, dass es eine Zeit gegeben habe, wo wir sie noch nicht gelernt hatten, zum Beispiel unsere Augen auf das Licht richten, was wir sehen möchten. Diese Art des Kennens nennen wir ein Können (im Sinne des französischen savoir) oder auch wohl ein Verstehen (zum Beispiel: ich verstehe zu reiten). Das erstere Wort soll von gleicher Etymologie sein, wie Kennen, und die Verwandtschaft der Form würde sich aus dieser Verwandtschaft der Bedeutung erklären. Freilich brauchen wir jetzt unser Wort „Können“ auch, wo wir bestimmter das Verbum „vermögen“ anwenden würden (französisch pouvoir), wo es sich also um Kraft und Hilfsmittel handelt, nicht nur um die Kenntniss ihrer Anwendung.

Ich bitte auch hier zu beachten, dass diese Kenntniss der anzuwendenden Willensimpulse den allerhöchsten Grad von Sicherheit, Bestimmtheit und Genauigkeit erreichen muss, ehe wir ein so künstliches Gleichgewicht, wie das beim Stelzengehen oder Schlittschuhlaufen erhalten können, oder ehe der Sänger mit der Stimme, der Violinspieler mit dem aufgesetzten Finger einen Ton genau zu treffen weiss, dessen Schwingungsdauer nicht um ein halbes Procent variiren darf.

Es ist ferner klar, dass man mit dergleichen sinnlichen Erinnerungsbildern statt der Worte dieselbe Art der Verbindung herstellen kann, die man, wenn sie in Worten ausgedrückt wäre, einen Satz oder ein Urtheil nennen würde. Ich kann zum Beispiel wissen, dass ein Mann, dessen Gesicht ich kenne, eine eigenthümliche Stimme hat, deren Klang mir in lebhafter Erinnerung ist. Ich würde Gesicht und Stimme aus tausend anderen sicher herauserkennen und bei jedem von beiden wissen, dass das andere dazu gehört. Aber in Worte fassen kann ich diesen Satz nicht, wenn ich von dem Manne nicht noch andere begrifflich zu definirende Merkmale angeben kann. Dann kann ich mir mit einem Demon-

Digitized by Google

strativum helfen und sagen: diese Stimme, die wir jetzt hören, gehört dem Manne, den wir dort und damals gesehen haben.

Aber es sind nicht bloss singuläre, es sind auch allgemeine Sätze, in denen die Worte durch sinnliche Eindrücke vertreten sein können. Ich brauche nur an die Wirkungen der künstlerischen Darstellung zu erinnern. Eine Götterstatue würde mir nicht den Eindruck eines bestimmten Charakters, Temperaments, einer bestimmten Stimmung machen können, wenn ich nicht wüsste, dass die Art von Gesichtsbildung und Mienenspiel, welche sie zeigt, in den meisten oder in allen Fällen, wo sie vorkommt, jene Bedeutung hat. Und um im Gebiete der Sinneswahrnehmungen zu bleiben, wenn ich weiss, dass eine bestimmte Art zu blicken, für welche ich die Art der anzuwendenden Innervation sehr wohl und bestimmt kenne, nöthig ist, um einen zwei Fuss entfernten, und so und so weit nach rechts gelegenen Punkt zu fixiren, so ist auch dies ein allgemeiner Satz, der für alle Fälle gilt, in denen ich einen so gelegenen Punkt fixirt habe und fixiren werde. Dieser in Worten nicht ausdrückbare Satz ist das Resultat, in dem ich meine bisherige einschlägige Erfahrung mir aufbewahrt habe. Er kann jeden Augenblick zum Major eines Schlusses werden, so wie der Fall eintritt, dass ich einen Punkt in der betreffenden Lage fixire und fühle, dass ich so blicke, wie es jener Major aussagt. Letztere Wahrnehmung ist mein Minor, und die Conclusio ist, dass an der betreffenden Stelle sich das gesehene Object befinde.

Gesetzt nun, ich wendete die besagte Art des Blickens an, aber in ein Stereoskop hinein. Jetzt weiss ich, dass ich vor mir an der betreffenden Stelle kein wirkliches Object habe. Aber ich habe doch denselben sinnlichen Eindruck, als ob dort eines wäre, und diesen Eindruck kann ich weder mir selbst noch Anderen anders bezeichnen und charakterisiren, als dadurch, dass es der Eindruck ist, der bei normaler Beobachtungsweise entstehen würde, wenn dort ein Object wäre. Dies müssen wir wohl bemerken. Der Physiolog kann freilich den Eindruck noch anders beschreiben, nach der Stellung der Augen, der Lage der Netzhautbilder u. s. w. Aber unmittelbar kann die Empfindung, die wir haben, nicht anders bestimmt und charakterisirt werden. So wird sie also von uns als täuschende Empfindung anerkannt, und doch können wir die Empfindung dieser Täuschung nicht fortschaffen. Wir können eben die Erinnerung an ihre normale Bedeutung nicht vertilgen, selbst wenn wir wissen, dass diese in dem vorliegenden Falle nicht zutrifft; ebenso wenig, als wir die Bedeutung eines Wortes unserer

Digitized by Google

Muttersprache uns aus dem Sinne schlagen können, wenn es einmal als Zeichen oder Stichwort zu einem ganz anderen Zwecke angewendet wird.

Dass diese Schlüsse im Gebiete der Sinneswahrnehmungen uns so zwingend entgegentreten, wie eine äussere Naturgewalt, und dass ihre Resultate uns deshalb durch unmittelbare Wahrnehmung gegeben zu sein scheinen ohne alle Selbstthätigkeit von unserer Seite, unterscheidet sie ebenfalls nicht von den logischen und bewussten Schlüssen, wenigstens nicht von denen, die diesen Namen wirklich verdienen. Was wir mit Willkühr und Bewusstsein thun können, um einen Schluss zu Stande zu bringen, ist doch nur, dass wir das Material für seine Vordersätze vollständig herbeischaffen. Sobald dieses Material wirklich vollständig da ist, drängt sich uns ja auch der Schluss unabweislich auf. Die Schlüsse, welche man je nach Belieben glaubt ziehen zu können oder nicht ziehen zu können, sind überhaupt nicht viel werth.

Wir werden, wie man sieht, durch diese Untersuchungen zu einem Gebiet von psychischen Thätigkeiten geführt, von denen bisher in wissenschaftlichen Untersuchungen wenig die Rede gewesen ist, weil es schwer hält, überhaupt von ihnen in Worten zu reden. Am meisten sind sie noch in ästhetischen Untersuchungen berücksichtigt worden, wo sie als „Anschaulichkeit", „unbewusste Vernunftmässigkeit", „sinnliche Verständlichkeit" und in ähnlichen halbdunkeln Bezeichnungen eine grosse Rolle spielen. Es steht ihnen das sehr falsche Vorurtheil entgegen, dass sie unklar, unbestimmt, nur halbbewusst vor sich gingen, dass sie als eine Art rein mechanischer Operationen dem bewussten und durch die Sprache ausdrückbaren Denken untergeordnet seien. Ich glaube nicht, dass in der Art der Thätigkeit selbst ein Unterschied zwischen den ersteren und den letzteren nachgewiesen werden kann. Die ungeheure Ueberlegenheit des bis zur Anwendung der Sprache gereiften Erkennens erklärt sich hinlänglich schon dadurch, dass die Sprache einerseits es möglich macht, die Erfahrungen von Millionen von Individuen und Tausenden von Generationen zu sammeln, fest aufzubewahren und durch fortgesetzte Prüfung allmälig immer sicherer und allgemeiner zu machen. Andererseits beruht auch die Möglichkeit überlegten gemeinsamen Handelns der Menschen, und damit der grösste Theil ihrer Macht, auf der Sprache. In beiden Beziehungen kann das Kennen nicht mit dem Wissen rivalisiren; doch folgt daraus nicht nothwendig eine geringere Klarheit oder eine andere Natur des ersteren.

Digitized by Google

Die Anhänger der nativistischen Theorien pflegen sich auf die Fähigkeiten der neugeborenen Thiere zu berufen, von denen sich viele ja weit geschickter zeigen, als das menschliche Kind. Letzteres lernt offenbar, trotz seiner überlegenen Gehirnmasse und geistigen Entwickelungsfähigkeit, die einfachsten Aufgaben äusserst langsam, zum Beispiel seine Augen nach einem Objecte hinwenden, mit den Händen etwas Gesehenes greifen. Soll man daraus nicht schliessen, dass das menschliche Kind eben viel mehr zu lernen hat, als das von Instincten richtig geleitete, aber auch gefesselte Thier. Man sagt vom Kalbe, dass es das Euter sehe und darauf zugehe; ob es dasselbe nicht bloss riecht, und die Bewegungen fortsetzt, die es diesem Geruch näher bringen, wäre erst noch zu prüfen. Das menschliche Kind weiss jedenfalls von einem solchen Gesichtsbilde nichts; es dreht sich oft genug hartnäckig von der Brust weg nach der falschen Seite, und sucht dort nach derselben.

Je beschränkter die Geistesfähigkeiten der Thiere im erwachsenen Zustande sind, desto sicherer führt sie im Allgemeinen ihr Instinkt gleich von Anfang an. Neuere Beobachtungen [1]) lehren, dass junge Hühnchen, im Brütofen ausgebrütet, denen man gleich nach dem Auskriechen eine dunkle Kappe über den Kopf gebunden hatte, wenn sie am dritten Tage, wo sie kräftig genug zu Bewegungen geworden waren, eine Henne glucken hörten, dieser geraden Weges zuliefen. Behielten sie ihre Kappe dabei auf, so stiessen sie sich an Hindernisse, nahm man sie ihnen ab, so vermieden sie diese. Auch picken sie von Anfang an geschickt und ohne zu fehlen nach kleinen Objecten, die am Boden liegen, müssen aber erst lernen, was sie aufzupicken, und was zu vermeiden haben, denn anfangs picken sie auch nach ihrem eigenen Unrath. Dabei ist freilich zu bedenken, dass sie schon vorher in der Eischaale gepickt und vielleicht dabei auch gesehen haben; die genannten Erfahrungen bei dem ersten Laufe sind deshalb beweisender. Vorläufig wissen wir für solche Thatsachen keine andere Erklärung zu geben, als dass Gemüthsaffecte, die sich bei den Eltern und Voreltern an gewisse zusammengesetzte Gesichtsbilder geknüpft haben, auf die Nachkommen übergegangen sind und auch diese veranlassen solchen Gesichtsbildern, die Lust verkünden, zuzustreben, solchen dagegen, die Gefahr verkünden, auszuweichen.

---

[1]) Mr. Spalding und Lady Amberly nach Tyndall's Angabe (Address to the Brit. Assoc. 1874).

Digitized by Google

Uebrigens zeigen die bisher vorliegenden Beobachtungen, dass eine Menge unerwarteter und interessanter Verhältnisse bei den thierischen Instinkten vorkommen, welche sorgfältigstes Studium namentlich mit Bezug auf die hier besprochene Frage verdienen. Wie ein Kind, welches gelernt hat aus der Saugflasche zu trinken, nachher nicht mehr die Brust nehmen will, so scheuen junge Enten, die in der Küche aufgewachsen sind, das Wasser, so schliesst sich ein Hühnchen, was vor dem fünften Tage keine Henne gefunden hat, einem Menschen an, der es pflegt, und folgt dann nicht mehr der Henne. Das scheint zu zeigen, dass den erfahrenen Thatsachen gegenüber die Triebe, welche anfangs wirken, so lange das Gedächtniss eine tabula rasa ist, schnell ihren Einfluss verlieren. Ehe diese Verhältnisse sorgfältig und ausgiebig studirt sind, halte ich es für verfrüht, eine Theorie der Instinkte aufzustellen; jedenfalls unterscheidet sich der Mensch gerade darin von den Thieren, dass diese angeborenen Triebe bei ihm auf das geringste mögliche Maass zurückgeführt sind.

Wir haben übrigens für dieses ganze Gebiet von Vorgängen die auffallendste Analogie an einem anderen willkührlich gewählten, nicht natürlich gegebenen Systeme von Zeichen, welches wir nachweisbar zu verstehen erst lernen müssen, nämlich an den Worten unserer Muttersprache.

Das erste Erlernen der Muttersprache ist offenbar ein viel schwierigeres Geschäft, als jedes spätere Erlernen einer fremden Sprache. Es muss überhaupt erst errathen werden, dass diese Laute Zeichen sein sollen, und gleichzeitig muss die Bedeutung jedes einzelnen durch dieselbe Art von Induction gefunden werden, wie die der Sinnesempfindungen. Und doch sehen wir Kinder am Ende des ersten Jahres schon einzelne Worte und Sätze verstehen, wenn sie sie auch noch nicht nachsprechen. Ja Hunde leisten gelegentlich dasselbe.

Andererseits wird auch diese nachweislich erst erlernte Verbindung zwischen dem Namen und dem Gegenstande, dem er angehört, ebenso fest und unausweichlich, wie die der Empfindungen und Objecte.

Wir können nicht umhin an die normale Bedeutung eines Wortes zu denken, auch wenn es ausnahmsweise einmal zu einem anderen Zwecke anders gebraucht wird. Wir können uns der Gemüthsbewegung, die eine erdichtete Geschichte hervorruft, nicht entziehen, selbst wenn wir wissen, dass sie erdichtet sei; ebenso

Digitized by Google

wie wir die normale Bedeutung der Empfindungen in einem Falle von Sinnestäuschung, die wir als solche erkennen, uns nicht aus dem Sinne schlagen können.

Endlich ist noch ein dritter Vergleichungspunkt bemerkenswerth. Die elementaren Zeichen der Sprache sind nur die 24 Buchstaben, und wie ausserordentlich mannigfaltigen Sinn können wir durch deren Combinationen ausdrücken und einander mittheilen! Nun bedenke man im Vergleich damit den ungeheuren Reichthum der elementaren Zeichen, die der Sehnervenapparat geben kann. Man kann die Zahl der Sehnerverfasern auf 250,000 schätzen. Jede derselben ist unzählig vieler verschiedener Grade der Empfindung von einer oder drei verschiedenen Grundfarben fähig. Dadurch ist natürlich ein unendlich viel reicheres System von Combinationen herzustellen, als mit den wenigen Buchstaben, wozu dann weiter noch die Möglichkeit schnellsten Wechsels in den Bildern des Gesichtes kommt. So dürfen wir uns nicht wundern, wenn die Sprache unserer Sinne uns so ausserordentlich viel feiner abgestufte und reicher individualisirte Nachrichten zuführt, als die der Worte.

Dies ist die Lösung des Räthsels von der Möglichkeit des Sehens, und zwar die einzige, welche die zur Zeit bekannten Thatsachen, so viel ich einsehe, zu geben erlauben. Gerade die auffallenden und groben Incongruenzen zwischen den Empfindungen und Objecten, sowohl in Bezug auf die Qualität, wie auf die Localisation, sind äusserst lehrreich, weil sie uns auf den richtigen Weg hindrängen. Und selbst diejenigen Physiologen, welche noch Stücke der prästabilirten Harmonie zwischen Empfindungen und Objecten zu retten suchen, müssen eingestehen, dass die eigentliche Vollendung und Verfeinerung der sinnlichen Anschauung auf der Erfahrung beruht, so sehr, dass letztere es sein müsste, welche endgültig entscheidet, wo sie etwa den hypothetischen angeborenen Anpassungen des Organs widerspräche. Dadurch wird die Bedeutung, welche solchen Anpassungen etwa noch zuerkannt werden kann, darauf beschränkt, dass sie vielleicht die erste Einübung der Anschauungen zu unterstützen im Stande sind.

Die Uebereinstimmung zwischen den Gesichtswahrnehmungen und der Aussenwelt beruht also ganz oder wenigstens der Hauptsache nach auf demselben Grunde, auf dem alle unsere Kenntniss

Digitized by Google

der wirklichen Welt beruht, nämlich auf der Erfahrung und der fortdauernden Prüfung ihrer Richtigkeit mittels des Experiments, wie wir es bei jeder Bewegung unseres Körpers vollziehen. Natürlich sind wir jener Uebereinstimmung aber auch nur in so weit versichert, als dieses Mittel der Prüfung reicht, das ist aber gerade so weit, als wir ihrer für praktische Zwecke bedürfen. Jenseits dieser Grenzen, zum Beispiel im Gebiete der Qualitäten, können wir zum Theil die Nichtübereinstimmung bestimmt nachweisen. Nur die Beziehungen der Zeit, des Raums, der Gleichheit, und die davon abgeleiteten der Zahl, der Grösse, der Gesetzlichkeit, kurz das Mathematische, sind der äusseren und inneren Welt gemeinsam, und in diesen kann in der That eine volle Uebereinstimmung der Vorstellungen mit den abgebildeten Dingen erstrebt werden. Aber ich denke, wir wollen der gütigen Natur darum nicht zürnen, dass sie uns die Grösse und Leerheit dieser Abstracta durch den bunten Glanz einer mannigfaltigen Zeichenschrift zwar verdeckt, dadurch aber auch um so schneller übersichtlich und für praktische Zwecke verwendbar gemacht hat, während für die Interessen des theoretischen Geistes Spuren genug sichtbar bleiben, um ihn bei der Untersuchung, was Zeichen und was Bild sei, richtig zu führen.

Digitized by Google

ÜBER DAS

ZIEL UND DIE FORTSCHRITTE

DER

NATURWISSENSCHAFT.

Eröffnungsrede

für die

Naturforscherversammlung

zu

Innsbruck,

1869.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

Indem ich der ehrenvollen Aufforderung, die an mich ergangen ist, Folge leiste und auf diesen Platz trete, um den ersten wissenschaftlichen Vortrag in der ersten öffentlichen Sitzung der diesjährigen Naturforscherversammlung zu halten, erscheint es mir der Bedeutung dieses Augenblicks und der Würde dieser Versammlung angemessen, statt auf einen einzelnen Gegenstand meiner eigenen Studien einzugehen, Sie vielmehr aufzufordern, einen Blick auf die Entwickelung des ganzen Kreises von Wissenschaften zu werfen, der hier vertreten ist. Dieser Kreis umfasst ein ungeheures Gebiet von Specialstudien, ein Material von kaum zu umfassender Mannigfaltigkeit, dessen äussere Ausdehnung und innerer Reichthum jährlich wächst, und für dessen Wachsen noch gar keine Grenze abzusehen ist. In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts haben wir noch einen Alexander von Humboldt gehabt, der die damaligen naturwissenschaftlichen Kenntnisse bis in ihre Specialitäten hinein zu überschauen und in einen grossen Zusammenhang zu bringen vermochte. In der gegenwärtigen Lage möchte es wohl sehr zweifelhaft erscheinen, ob dieselbe Aufgabe selbst einem Geiste von so eigenthümlich dafür geeigneter Begabung, wie sie Humboldt besass, in derselben Weise lösbar sein würde, auch wenn er alle seine Zeit und seine Arbeit auf diesen Zweck verwenden wollte.

Wir alle aber, die wir an dem weiteren Ausbau einzelner Zweige der Wissenschaft arbeiten, können unsere Zeit nur zu einem sehr kleinen Theile auf das gleichzeitige Studium anderer Theile derselben verwenden. Wir müssen, sobald wir irgend eine einzelne Untersuchung vornehmen, alle unsere Kräfte auf ein eng begrenztes Feld concentriren. Wir haben nicht nur, wie der Philo-

Digitized by Google

loge oder Historiker, Bücher herbeizuschaffen und durchzusehen, Notizen zu sammeln von dem, was Andere schon über denselben Gegenstand gefunden haben; das ist im Gegentheil nur ein untergeordneter Theil unserer Arbeit. Wir müssen die Dinge selbst angreifen, und jedes von ihnen bietet seine neuen und eigenthümlichen Schwierigkeiten von ganz anderer Art, als der Büchergelehrte sie kennt. Und was am meisten Zeit und Arbeit kostet, sind in der Mehrzahl der Fälle Nebendinge, die nur in entfernter Verbindung mit dem Ziele der Untersuchung stehen.

Da müssen wir uns darauf werfen, Fehler der Instrumente zu studiren, sie zu beseitigen oder, wo sie sich nicht beseitigen lassen, ihren nachtheiligen Einfluss zu umgehen. Ein anderes Mal müssen wir Zeit und Gelegenheit abpassen, um einen Organismus in dem Zustande zu finden, wie wir ihn zur Untersuchung brauchen. Dann wiederum lernen wir erst während der Untersuchung mögliche Fehler derselben kennen, welche das Ergebniss geschädigt haben oder auch vielleicht nur im Verdacht stehen könnten, es geschädigt zu haben, und sehen uns genöthigt unsere Arbeit immer wieder von vorn zu beginnen, bis jeder Schatten eines Verdachtes beseitigt ist. Und nur wenn der Beobachter sich so in seinen Gegenstand gleichsam verbeisst, so alle seine Gedanken und all' sein Interesse darauf heftet, dass er Wochen lang, Monate lang, oder wohl Jahre lang nicht davon loslassen kann, und nicht eher loslässt, als bis er alle Einzelheiten beherrscht und bis er sich aller derjenigen Ergebnisse sicher fühlt, welche zur Zeit zu gewinnen sind, nur dann entsteht eine tüchtige und werthvolle Arbeit. Jeder von Ihnen wird wissen, wie unverhältnissmässig viel mehr Zeit mit den Vorbereitungen, mit den Nebenarbeiten, mit der Controle möglicher Fehler und namentlich mit der Abgrenzung der zur Zeit erreichbaren Ergebnisse von dem Unerreichbaren bei einer guten Untersuchung hingeht, als schliesslich dazu nöthig ist, die eigentlich endgültigen Beobachtungen oder Versuche durchzumachen; wie viel mehr Scharfsinn und Nachdenken oft aufgeboten werden muss, um ein ungehorsames Stück Messing oder Glas gefügig zu machen, als um den Plan der ganzen Untersuchung zu entwerfen. Jeder von Ihnen wird diese ungeduldige Erhitzung in der Arbeit kennen, wo alle Gedanken in einen engen Kreis von Fragen hineingebannt sind, deren Bedeutung dem Draussenstehenden als höchst gering und verächtlich erscheint, weil er das Ziel nicht kennt, zu dem die augenblickliche Arbeit nur die Pforte öffnen soll. Ich glaube nicht zu irren, wenn ich

Digitized by Google

in dieser Weise die Arbeit und den geistigen Zustand beschreibe, aus denen alle die grossen Resultate hervorgegangen sind, die die Entwickelung unserer Wissenschaften nach so langem Harren so schnell gezeitigt, und ihr einen so mächtigen Einfluss auf alle Seiten des menschlichen Lebens eröffnet haben.

Die Zeit des Arbeitens ist also jedenfalls keine Zeit grosser umfassender Umblicke. Freilich wenn der Sieg über die Schwierigkeiten glücklich errungen und die Ergebnisse sichergestellt sind, so tritt der Natur der Sache nach ein Ausruhen ein, und das nächste Interesse ist dann darauf gerichtet, die Tragweite der neu festgestellten Thatsachen zu überblicken, und einmal wieder einen grösseren Ausblick auf die benachbarten Gebiete zu wagen. Auch dies ist nothwendig, und nur derjenige, der zu einem solchen Ausblick befähigt ist, kann hoffen auch für fernere Arbeiten fruchtbare Angriffspunkte zu finden.

Der früheren Arbeit folgen dann spätere, die andere Gegenstände behandeln. Aber auch in der Reihenfolge seiner verschiedenen Arbeiten wird sich der einzelne Forscher nicht weit von einer mehr oder weniger eng begrenzten Richtung entfernen dürfen. Denn es kommt für ihn nicht nur darauf an, dass er aus Büchern Kenntnisse über die zu bearbeitenden Felder gesammelt habe. Das menschliche Gedächtniss ist am Ende noch verhältnissmässig geduldig und kann eine fast unglaublich grosse Masse von Gelehrsamkeit in sich aufspeichern. Aber der Naturforscher braucht ausser dem Wissen, was ihm Vorlesungen und Bücher zufliessen lassen, auch noch Kenntnisse, die nur eine reiche und aufmerksame sinnliche Anschauung geben kann; er braucht Fertigkeiten, welche nur durch oft wiederholte Versuche und durch lange Uebung zu gewinnen sind. Seine Sinne müssen geschärft sein für gewisse Arten der Beobachtung, für leise Verschiedenheiten der Form, der Farbe, der Festigkeit, des Geruchs u. s. w. der untersuchten Objecte; seine Hand muss geübt sein bald die Arbeit des Schmiedes, des Schlossers und Tischlers, bald die des Zeichners oder Violinspielers auszuführen, bald, wenn er unter dem Mikroskop anatomirt, die Spitzenklöpplerin in Genauigkeit der Führung einer Nadel zu übertreffen. Dann wiederum muss er den Muth und die Kaltblütigkeit des Soldaten haben, wenn er übermächtigen zerstörenden Gewalten gegenübersteht, oder blutige Operationen, bald an Menschen, bald an Thieren auszuführen hat. Solche theils in ursprünglicher Anlage schon empfangene, theils durch langjährige Uebung erworbene oder verfeinerte Eigenschaften und Fähigkeiten sind nicht so

Digitized by Google

schnell oder so massenhaft zu erwerben, wie es allenfalls möglich wäre, wo es sich nur um Schätze des Gedächtnisses handelte; und eben darum sieht sich der einzelne Forscher auch für die Reihe der Arbeiten seines ganzen Lebens gezwungen, sein Feld passend zu begrenzen und auf demjenigen Umkreise zu bleiben, welcher seinen Fähigkeiten entsprechend ist.

Wir können aber nicht verkennen, dass, je mehr der Einzelne gezwungen ist, das Feld seiner Arbeit zu verengern, desto mehr das geistige Bedürfniss sich ihm fühlbar machen muss, den Zusammenhang mit dem Ganzen nicht zu verlieren. Wo soll er die Kraft und die Freudigkeit für seine mühsame Arbeit hernehmen, wo die Zuversicht, dass das, woran er sich gemüht, nicht ungenützt vermodern, sondern einen dauernden Werth behalten werde, wenn er sich nicht die Ueberzeugung wach erhält, dass auch er einen Baustein geliefert hat zu dem grossen Ganzen der Wissenschaft, welche die vernunftlosen Mächte der Natur den sittlichen Zwecken der Menschheit dienstbar unterwerfen soll?

Auf einen unmittelbaren praktischen Nutzen ist freilich bei den einzelnen Untersuchungen gewöhnlich im Voraus nicht zu rechnen. Zwar haben die Naturwissenschaften das ganze Leben der modernen Menschheit durch die praktische Verwerthung ihrer Ergebnisse umgestaltet. Aber der Regel nach kommen diese Anwendungen bei Gelegenheiten zum Vorschein, wo man es am wenigsten vermuthet hatte; ihnen nachzujagen führt gewöhnlich nicht zu irgend einem Ziele, wenn man nicht schon ganz sichere nahe Anhaltpunkte dafür hat, so dass es sich nur noch um Beseitigung einzelner Hindernisse für die Ausführung handelt. Sieht man die Geschichte der wichtigsten Erfindungen durch, so sind sie entweder, namentlich in älterer Zeit, von Handwerkern und Arbeitern gemacht, die ihr ganzes Leben hindurch nur eine Arbeit trieben, und bald durch günstigen Zufall, bald durch hundertfältig wiederholte tastende Versuche einen neuen Vortheil in ihrem Geschäftsbetriebe fanden; oder sie sind — und zwar ist dies bei den neueren Erfindungen meist der Fall — Früchte der ausgebildeten wissenschaftlichen Kenntniss des betreffenden Gegenstandes, welche Kenntniss zunächst immer ohne directe Aussicht auf möglichen Nutzen nur um der wissenschaftlichen Vollständigkeit der Gesammterkenntniss willen gewonnen worden war.

Gerade die Naturforscherversammlung vertritt nun die Gesammtheit unserer Wissenschaften. Hier findet sich heute der Mathematiker, Physiker, Chemiker mit dem Zoologen, Botaniker,

Digitized by Google

Geologen zusammen, der Lehrer der Wissenschaft mit dem Arzte, dem Techniker und mit dem Dilettanten, der naturwissenschaftliche Arbeiten als Erholung von anderen Beschäftigungen treibt. Hier hofft Jeder wieder Anregung und Ermuthigung für seine Specialarbeiten zu finden; er hofft die Anerkennung zu erlangen, die ihm, wenn er Einwohner eines kleineren Ortes ist, anders kaum zu Theil wird, dass seine Arbeiten zu dem Ausbau des grossen Ganzen mit beigetragen haben; er hofft im Gespräche mit näher und ferner stehenden Fachgenossen sich die Ziele neuer Untersuchungen feststellen zu können. Hier sehen wir zu unserer Freude auch eine grosse Anzahl von Theilnehmern aus den gebildeten Kreisen der Nation, wir sehen einflussreiche Staatsmänner unter uns. Sie alle sind bei unseren Arbeiten betheiligt; sie erwarten von uns weiteren Fortschritt in der Civilisation, fernere Siege über die Naturkräfte. Sie sind es, die uns die äusseren Hilfsmittel für unsere Arbeiten zu Gebote stellen müssen, und deshalb auch nach den Ergebnissen dieser Arbeiten zu fragen berechtigt sind. Hier und an dieser Stelle scheint es mir deshalb vorzugsweise wünschenswerth, dass Rechenschaft gegeben werde über die Fortschritte des grossen Ganzen der Naturwissenschaften, über die Ziele, denen es nachstrebt, über die Grösse der Schritte, um die es sich diesen Zielen genähert hat.

Eine solche Rechenschaft ist wünschenswerth; dass ein Einzelner kaum im Stande sein wird diese Aufgabe auch nur annähernd vollständig zu lösen, liegt in dem begründet, was ich vorausgeschickt habe. Dass ich selbst heute hier stehe, mit einer solchen Aufgabe betraut, mag hauptsächlich dadurch entschuldigt werden, dass kein Anderer sich daran wagen wollte, und ich meinte, ein halb misslungener Versuch, ihr gerecht zu werden, sei immerhin noch besser als gar keiner. Ausserdem hat ein Physiologe vielleicht am meisten unmittelbare Veranlassung, sich einen gewissen Ausblick auf das Ganze fortdauernd klar zu halten. Denn in der jetzigen Lage der Dinge ist gerade die Physiologie besonders darauf angewiesen, von allen anderen Zweigen der Naturwissenschaft Hilfe zu empfangen und mit ihnen in Zusammenhang zu bleiben. Gerade in der Physiologie hat sich die Wichtigkeit der grossen Fortschritte, von denen ich reden will, am fühlbarsten gemacht, und durch die principiellen Streitfragen der Physiologie sind einige der hervortretendsten unter ihnen geradezu veranlasst worden.

Wenn ich erhebliche Lücken lasse, so bitte ich diese theils

Digitized by Google

mit der Grösse der Aufgabe, theils damit zu entschuldigen, dass die dringende Aufforderung der verehrten Geschäftsführer dieser Versammlung an mich sehr spät und während einer Sommerfrische im Gebirge kam. Und was ich an Lücken lasse, werden die Sectionsverhandlungen jedenfalls reichlich ergänzen.

Machen wir uns denn an unsere Aufgabe! Die erste Frage, die uns entgegentritt, wenn wir vom Fortschritt der gesammten Naturwissenschaft reden wollen, wird sein: Nach welchem Maassstab sollen wir denn einen solchen Fortschritt beurtheilen?

Dem Uneingeweihten ist diese Wissenschaft eine Zusammenhäufung einer unübersehbaren und verwirrenden Menge von Einzelheiten, unter denen sich einige durch praktische Nützlichkeit hervorheben, andere als Curiosa, als Gegenstände des Erstaunens. Aber in diesem Zustande unzusammenhängender Einzelheiten, selbst, wenn es etwa durch eine systematische Ordnung, wie in dem Linne'schen Pflanzensystem oder in lexikalischen Encyclopädien, leicht gemacht wäre, eine jede derselben schnell nach Bedürfniss wiederzufinden, würde solches Wissen nicht den Namen der Wissenschaft verdienen, und weder dem wissenschaftlichen Bedürfnisse des menschlichen Geistes, noch dem Verlangen nach fortschreitender Herrschaft des Menschen über die Naturmächte Genüge thun. Denn das erstere fordert geistig fassbaren Zusammenhang der Kenntnisse; das zweite fordert die Voraussicht des Erfolges in noch unbekannten Fällen und unter Bedingungen, die wir durch unsere Handlungen erst herbeizuführen beabsichtigen. Beides ist offenbar erst durch die Kenntniss des Gesetzes der Erscheinungen zu erreichen.

Nicht die einzelnen beobachteten Thatsachen und Versuche an sich haben Werth; und wenn ihre Zahl noch so unermesslich wäre. Erst dadurch erhalten sie Werth, theoretischen wie praktischen, dass sie uns das Gesetz einer Reihe gleichartig wiederkehrender Erscheinungen erkennen lassen, oder vielleicht auch nur negativ erkennen lassen, dass eine bisher als vollständig betrachtete Kenntniss eines solchen Gesetzes unvollständig war. Bei der strengen und allverbreiteten Gesetzlichkeit der Naturerscheinungen genügt freilich unter Umständen schon eine einzige Beobachtung eines Verhältnisses, was wir als streng gesetzmässig voraussetzen dürfen, um darauf mit höchstem Grade von Wahrscheinlichkeit eine Regel zu begründen; wie wir zum Beispiel die Kenntniss des Skeletts eines urweltlichen Thieres als vollständig voraussetzen, wenn wir auch nur ein vollständiges Skelett eines einzelnen Indi-

Digitized by Google

viduums gefunden haben. Aber wir müssen uns nur besinnen, dass auch hier die einzelne Beobachtung nicht als einzelne ihren Werth hat, sondern weil sie zur Kenntniss der gesetzlichen Regelmässigkeit im Körperbau einer ganzen Species von Organismen verhilft. Und ebenso ist die Kenntniss der specifischen Wärme von einem einzigen kleinen Stückchen eines neuen Metalls wichtig, weil wir nicht zu zweifeln brauchen, dass alle anderen ebenso behandelten Stücke desselben Metalls sich ebenso verhalten werden.

Das Gesetz der Erscheinungen finden, heisst sie begreifen. In der That ist das Gesetz der allgemeine Begriff, unter den sich eine Reihe von gleichartig ablaufenden Naturvorgängen zusammenfassen lassen. Wie wir in den Begriff „Säugethier" alles zusammenfassen, was dem Menschen, dem Affen, dem Hunde, dem Löwen, dem Hasen, dem Pferde, dem Walfische u. s. w. gemeinsam ist, so fassen wir im Brechungsgesetz zusammen, was wir regelmässig wiederkehrend finden, wenn irgend ein Lichtstrahl von irgend einer Farbe, in irgend einer Richtung durch die gemeinsame Grenzfläche irgend zweier durchsichtiger Medien dringt.

Ein Naturgesetz ist aber nicht bloss ein logischer Begriff, den wir uns zurecht gemacht haben als eine Art von mnemotechnischen Hilfsmittels, um die Thatsachen besser zu behalten. Auch sind wir modernen Menschen jetzt so weit in der Einsicht vorgeschritten, um zu begreifen, dass die Naturgesetze nicht etwas sind, was wir uns auf speculativem Wege vielleicht ausdenken könnten. Wir müssen sie vielmehr in den Thatsachen entdecken; wir müssen sie in immer wiederholten Beobachtungen oder Versuchen, an immer neuen Einzelfällen, unter immer wieder veränderten Umständen prüfen, und nur in dem Maasse, als sie unter einem immer grösseren Wechsel der Bedingungen und in einer immer grösseren Zahl von Fällen und bei immer genaueren Beobachtungsmitteln ausnahmslos sich bewähren, steigt unser Vertrauen in ihre Zuverlässigkeit.

So treten uns die Naturgesetze gegenüber als eine fremde Macht, nicht willkürlich zu wählen und zu bestimmen in unserem Denken, wie man etwa verschiedene Systeme der Thiere und Pflanzen hintereinander aufstellen konnte, so lange man bloss den mnemotechnischen Zweck verfolgte, die Namen aller gut zu behalten. Wo wir ein Naturgesetz vollständig kennen, müssen wir auch Ausnahmslosigkeit seiner Geltung fordern und diese zum Kennzeichen seiner Richtigkeit machen. Wenn wir uns vergewissern können, dass die Bedingungen eingetreten sind, unter denen das

Gesetz zu wirken hat, so müssen wir auch den Erfolg eintreten sehen ohne Willkür, ohne Wahl, ohne unser Zuthun, mit einer die Dinge der Aussenwelt ebenso gut, wie unser Wahrnehmen, zwingenden Nothwendigkeit. So tritt uns das Gesetz als eine objective Macht entgegen, und demgemäss nennen wir es Kraft.

Wir objectiviren zum Beispiel das Gesetz der Lichtbrechung als eine Lichtbrechungskraft der durchsichtigen Substanzen, das Gesetz der chemischen Wahlverwandtschaften als eine Verwandtschaftskraft der verschiedenen Stoffe zu einander. So sprechen wir von einer elektrischen Contactkraft der Metalle, von einer Adhäsionskraft, Capillarkraft und anderen mehr. In diesen Namen sind Gesetze objectivirt, welche zunächst erst kleinere Reihen von Naturvorgängen umfassen, deren Bedingungen noch ziemlich verwickelt sind. Mit solchen musste die Begriffsbildung in den Naturwissenschaften anfangen, bis man von einer Anzahl wohlbekannter speciellerer Gesetze zu allgemeineren fortschreiten konnte. Man musste hierbei namentlich suchen die Zufälligkeiten der Form und der räumlichen Vertheilung, welche die mitwirkenden Massen darbieten konnten, zu beseitigen, indem man aus den an grossen sichtbaren Massen beobachteten Erscheinungen die Gesetze für die Wirkungen der verschwindend kleinen Massentheilchen herauszulesen suchte; das heisst objectiv ausgedrückt, indem man die Kräfte der zusammengesetzten Massen auflöste in die Kräfte ihrer kleinsten Elementartheile. Aber gerade in der so gewonnenen reinsten Form des Ausdrucks der Kraft, dem der mechanischen Kraft, die auf einen Massenpunkt wirkt, tritt es besonders deutlich heraus, dass die Kraft nur das objectivirte Gesetz der Wirkung ist. Die durch die Anwesenheit solcher und solcher Körper gegebene Kraft wird gleichgesetzt der Beschleunigung der Masse, auf die sie wirkt, multiplicirt mit dieser Masse. Der thatsächliche Sinn einer solchen Gleichung ist, dass sie das Gesetz ausspricht: Wenn solche und solche Massen vorhanden sind und keine anderen, so tritt solche und solche Beschleunigung ihrer einzelnen Punkte ein. Diesen thatsächlichen Sinn können wir mit den Thatsachen vergleichen und an ihnen prüfen. Der abstracte Begriff der Kraft, den wir einschieben, fügt nur das noch hinzu, dass wir dieses Gesetz nicht willkürlich erfunden, dass es ein zwingendes Gesetz der Erscheinungen sei.

Unsere Forderung, die Naturerscheinungen zu begreifen, das heisst ihre Gesetze zu finden, nimmt so eine andere Form des Ausdrucks an, die nämlich, dass wir die Kräfte aufzusuchen haben,

Digitized by Google

welche die Ursachen der Erscheinungen sind. Die Gesetzlichkeit der Natur wird als causaler Zusammenhang aufgefasst, sobald wir die Unabhängigkeit derselben von unserem Denken und unserem Willen anerkennen.

Wenn wir also nach dem Fortschritt der Naturwissenschaft als Ganzem fragen, so werden wir ihn nach dem Maasse zu beurtheilen haben, in welchem die Anerkennung und die Kenntniss eines alle Naturerscheinungen umfassenden ursächlichen Zusammenhanges fortgeschritten ist.

Blicken wir zurück auf die Geschichte unserer Wissenschaften, so ist das erste grosse Beispiel von Unterordnung einer ausgedehnten Mannigfaltigkeit von Thatsachen unter ein umfassendes Gesetz von der theoretischen Mechanik ausgegangen, deren Grundbegriffe Galilei zuerst klar hingestellt hatte. Es handelte sich damals darum, die allgemeinen Sätze zu finden, die uns jetzt so selbstverständlich erscheinen, dass alle Masse träge sei, und dass die Grösse der Kraft nicht durch die Geschwindigkeit, sondern durch deren Veränderung zu messen sei. Zunächst wusste man die Wirkung einer continuirlich wirkenden Kraft sich nur als eine Reihe kleiner Stösse darzustellen. Erst als Leibnitz und Newton mit der Erfindung der Differentialrechnung das alte Dunkel, in welches der Begriff des Unendlichen gehüllt war, zerstreut und den Begriff des Continuirlichen und continuirlich Veränderlichen klargestellt hatten, konnte man zu einer reichen und fruchtbaren Anwendung der neu gefundenen mechanischen Begriffe fortschreiten. Das geeignetste und glänzendste Beispiel einer solchen Anwendung war die Bewegung der Planeten, und ich brauche hier nur daran zu erinnern, welch' leuchtendes Vorbild die Astronomie für die Entwickelung aller anderen Naturwissenschaften gewesen ist. In ihr wurde durch die Gravitationstheorie zum ersten Male eine ungeheure und verwickelte Masse von Thatsachen unter ein einziges Princip von grösster Einfachheit zusammengefasst, eine Uebereinstimmung der Theorie und der Thatsachen erreicht, wie sie weder früher noch später in einem anderen Felde je wieder erreicht werden konnte. An den Bedürfnissen der Astronomie haben sich fast alle genaueren Messungsmethoden, sowie die meisten Fortschritte der neueren Mathematik entwickelt; sie war besonders geeignet auch die Augen der Laien auf sich zu ziehen, theils durch die Erhabenheit ihrer Gegenstände, theils durch den praktischen Nutzen, den sie der Schifffahrt, der Geodäsie und dadurch einer Menge von industriellen und socialen Interessen brachte.

Digitized by Google

Galilei begann mit dem Studium der irdischen Schwere; Newton dehnte deren Anwendung, anfangs vorsichtig und zögernd auf den Mond, dann kühner auf alle Planeten aus. Die neuere Zeit hat gelehrt, dass dieselben Gesetze der aller wägbaren Masse gemeinsamen Trägheit und Gravitation ihre Anwendung finden bis in die Bahnen der entferntesten Doppelsterne hinein, von welchen das Licht noch zu uns gelangt.

In der zweiten Hälfte des vorigen und der ersten Hälfte des laufenden Jahrhunderts reihte sich daran die grosse Entwickelung der Chemie, welche die alte Aufgabe, die Elemente zu finden, woran sich so viele metaphysische Speculationen geknüpft hatten, endlich thatsächlich löste; und wie sich dann immer die Wirklichkeit viel reicher erweist, als die kühnste und phantasiereichste Speculation, so traten nun an die Stelle der vier alten metaphysischen Elemente, Feuer, Wasser, Luft und Erde, die später bis auf die Anzahl von 65 vermehrten Elemente der neueren Chemie. Die Wissenschaft hat erwiesen, dass diese Elemente wirklich unzerstörbar sind, unveränderlich in ihrer Masse, unveränderlich auch in ihren Eigenschaften, insofern als sie aus jedem Zustande, in den sie übergeführt worden sind, immer wieder ausgeschieden und auf dieselben Eigenschaften zurückgeführt werden können, die sie früher irgend einmal in isolirtem Zustande gehabt haben. In allem bunten Wechsel der Erscheinungen der belebten und unbelebten Natur, so weit sie uns zugänglich sind, in allen den überraschenden Resultaten chemischer Zersetzung und Verbindung, deren Anzahl und Mannigfaltigkeit unsere Chemiker mit unermüdlichem Fleisse jedes Jahr in steigendem Maasse vermehren, herrscht das eine Gesetz von der Unveränderlichkeit der Stoffe mit ausnahmsloser Nothwendigkeit. Und schon ist die Chemie mit der Spectralanalyse hinausgedrungen in die Tiefen des unermesslichen Raumes, und hat in dessen fernsten Sonnen und Nebelflecken die Spuren wohlbekannter irdischer Elemente aufgefunden, so dass an der durchgehenden Gleichartigkeit der Stoffe im Weltall nicht zu zweifeln ist, wenn auch immerhin einzelne Elemente auf einzelne Gruppen von Weltkörpern beschränkt sein mögen.

An diese Constanz der Elemente schliesst sich eine andere weiter gehende Folgerung. Die Chemie erwies durch thatsächliche Untersuchung, dass alle Masse aus den von ihr gefundenen Elementen zusammengesetzt ist. Die Elemente können ihre Verbindung und Mischung unter einander, die Art ihrer Aggregation oder ihrer Molecularstructur mannigfach verändern, das heisst sie kön-

Digitized by Google

nen die Art ihrer Vertheilung im Raume verändern. Dagegen zeigen sie sich als durchaus unveränderlich in ihren Eigenschaften; das heisst, wenn sie in dieselbe Verbindung, beziehlich Isolirung, und in dieselbe Aggregation zurückgeführt werden, zeigen sie immer wieder dieselben Eigenschaften. Sind aber alle elementaren Substanzen unveränderlich nach ihren Eigenschaften und nur veränderlich nach ihrer Mischung, nach ihrer Aggregation, das heisst nach ihrer Vertheilung im Raume, so ist alle Veränderung in der Welt Aenderung der räumlichen Vertheilung der elementaren Stoffe und kommt in letzter Instanz zu Stande durch Bewegung.

Ist aber Bewegung die Urveränderung, welche allen anderen Veränderungen in der Welt zu Grunde liegt, so sind alle elementaren Kräfte Bewegungskräfte, und das Endziel der Naturwissenschaften ist, die allen anderen Veränderungen zu Grunde liegenden Bewegungen und deren Triebkräfte zu finden, also sich in Mechanik aufzulösen.

Wenn dies nun auch offenbar die letzte Consequenz der nachgewiesenen quantitativen und qualitativen Unveränderlichkeit der Materie ist, so bleibt sie doch zuvörderst nur als eine ideale Forderung stehen, von deren Verwirklichung wir noch weit entfernt sind. Erst in beschränkten Gebieten ist es gelungen, die Rückführung der unmittelbar beobachteten Veränderungen auf Bewegungen und Bewegungskräfte bestimmter Art zu Stande zu bringen. Ausser der Astronomie sind hier die rein mechanischen Theile der Physik, dann die Akustik, Optik, Elektricitätslehre zu nennen; in der Wärmelehre und in der Chemie wird schon eifrig an der Ausbildung bestimmter Vorstellungen über die Form der Bewegungen und Lagerungen der Molekeln gearbeitet, in den physiologischen Wissenschaften sind kaum erst unbestimmte Anfänge davon vorhanden.

Um so wichtiger ist es, dass sich im Laufe des letzten Vierteljahrhunderts ein bedeutender und allgemeingiltiger Fortschritt vollzogen hat, der geradezu auf das bezeichnete Ziel hin gerichtet ist. Wenn alle elementaren Kräfte Bewegungskräfte, alle also gleicher Natur sind, so müssen sie alle nach dem gleichen Maasse, nämlich dem Maasse der mechanischen Kräfte, zu messen sein. Und dass dies der Fall sei, ist in der That schon als erwiesen zu betrachten. Das Gesetz, welches dies ausspricht, ist unter dem Namen des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft bekannt.

Für einen beschränkten Kreis von Naturerscheinungen war dasselbe schon von Newton ausgesprochen worden, deutlicher und

Digitized by Google

allgemeiner dann von D. Bernouilli, von wo ab es in anerkannter Giltigkeit für den grösseren Theil der bekannten rein mechanischen Vorgänge stehen blieb. Einzelne Erweiterungen tauchten gelegentlich auf, namentlich bei Rumford, Humphrey Davy, Montgolfier. Aber als der, welcher zuerst den Begriff dieses Gesetzes rein und klar erfasst und seine absolute Allgemeingiltigkeit auszusprechen gewagt hat, ist derjenige zu nennen, den wir nachher von dieser Stelle zu hören die Freude haben werden, Dr. Robert Mayer von Heilbronn. Während Herr Mayer durch physiologische Fragen zu der Entdeckung der allgemeinsten Form dieses Gesetzes geleitet wurde, waren es technische Fragen des Maschinenbaues, die gleichzeitig und unabhängig von ihm Herrn Joule in Manchester zu denselben Ueberlegungen führten, und letzterem verdanken wir namentlich die wichtigen und mühsamen Experimentaluntersuchungen über dasjenige Gebiet, in welchem die Giltigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft am zweifelhaftesten erscheinen konnte, und wo die wichtigsten Lücken unserer thatsächlichen Kenntnisse bestanden, nämlich die Erzeugung von Arbeit durch Wärme und von Wärme durch Arbeit.

Um das Gesetz klar hinzustellen, musste im Gegensatze zu dem früher von Galilei gefundenen Begriffe der Intensität der Kraft ein neuer mechanischer Begriff ausgearbeitet werden, den wir als den Begriff der Quantität der Kraft bezeichnen können, und der auch sonst Quantität der Arbeit oder der Energie genannt worden ist.

Dieser Begriff der Quantität der Kraft war vorbereitet worden theils in der theoretischen Mechanik durch den Begriff des Quantums lebendiger Kraft einer bewegten Masse, theils in der praktischen Mechanik durch den Begriff der Triebkraft, die nöthig ist, um eine Maschine in Gang zu halten. Auch hatten die Maschinentechniker schon das Maass gefunden, nach welchem eine jede Triebkraft zu messen ist, indem sie bestimmten, wie viel Pfunde dadurch in der Secunde um einen Fuss gehoben werden können; so wird bekanntlich eine Pferdekraft gleich der zur Hebung von 70 Kilogramm um ein Meter für jede Secunde nöthigen Triebkraft definirt.

In der That tritt an den Maschinen und den zu ihren Bewegungen nöthigen Triebkräften die durch das Gesetz von der Erhaltung der Kraft ausgesprochene Gleichartigkeit aller Naturkräfte in der am meisten populären Form heraus. Jede Maschine, welche in Thätigkeit gesetzt werden soll, bedarf einer mechanischen Trieb-

Digitized by Google

kraft. Wo diese hergenommen wird und welche Form sie hat, ist einerlei, wenn sie nur gross genug ist und anhaltend wirkt. Bald brauchen wir eine Dampfmaschine, bald ein Wasserrad oder eine Turbine, bald Pferde oder Ochsen an einem Göpelwerk, bald eine Windmühle oder, wenn nicht viel Kraft nöthig ist, den menschlichen Arm, ein aufgezogenes Gewicht oder eine elektro-magnetische Maschine. Welche von diesen Triebkräften wir wählen, ist nur abhängig von der Grösse der Kraft, die wir brauchen, und von der Gunst der Gelegenheit. In der Wassermühle wirkt die Schwere des von den Bergen herabfliessenden Wassers; hinaufgeschafft auf die Berge wird es durch die meteorologischen Processe, diese sind die Quelle der Triebkraft für die Mühle. In der Windmühle ist es die lebendige Kraft der bewegten Luft, welche die Flügel umtreibt; auch diese Bewegung stammt aus den meteorologischen Processen der Atmosphäre. In der Dampfmaschine ist es die Spannkraft der erhitzten Dämpfe, welche den Stempel hin- und herschiebt; diese wird hervorgerufen durch die Wärme, die im Feuerraume durch Verbrennung der Kohlen, das heisst durch einen chemischen Process erzeugt wird. Letzterer ist hier die Quelle der Triebkraft. Ist es ein Pferd oder der menschliche Arm, welche arbeiten, so sind es deren Muskeln, welche, angeregt durch die Nerven, unmittelbar die mechanische Kraft erzeugen. Damit aber der lebende Körper Muskelkraft erzeugen könne, muss er genährt werden und athmen. Die Nahrungsmittel, die er einnimmt, scheiden wieder aus ihm aus, nachdem sie sich mit dem Sauerstoff der geathmeten Luft zu Kohlensäure und Wasser verbunden haben. Wiederum ist also auch hier ein chemischer Process nöthig, um dauernd die Muskelkraft zu unterhalten. Dasselbe gilt für die elektro-magnetischen Maschinen unserer Telegraphen.

So gewinnen wir mechanische Triebkraft aus den allerverschiedenartigsten Naturprocessen in der verschiedenartigsten Weise, aber, wie wir gleich dabei bemerken müssen, auch immer nur in begrenzter Quantität. Wir verbrauchen immer etwas dabei, was uns die Natur liefert. Wir verbrauchen in der Wassermühle eine Quantität in der Höhe angesammelten Wassers, wir verbrauchen Kohlen in der Dampfmaschine, Zink und Schwefelsäure in der elektro-magnetischen Maschine, Nahrungsmittel für das arbeitende Pferd; wir verbrauchen in der Windmühle die Bewegung des Windes, welche an deren Flügeln gehemmt wird.

Umgekehrt, steht uns eine Triebkraft zur Verfügung, so können wir die verschiedenartigsten Wirkungen damit erreichen. Ich

Digitized by Google

brauche hier die zahllose Mannigfaltigkeit industrieller Maschinen und die verschiedenartige Arbeit, die sie leisten, nicht aufzuzählen.

Achten wir vielmehr auf die physikalischen Unterschiede der möglichen Leistungen einer Triebkraft. Wir können mit ihrer Hilfe Lasten heben, Wasser in die Höhe pumpen, Gase verdichten, Eisenbahnzüge in Bewegung setzen, durch Reibung Wärme erzeugen. Wir können durch sie magnet-elektrische Maschinen drehen, dadurch elektrische Ströme erzeugen, und mit deren Hilfe Wasser oder andere chemische Verbindungen von stärkster Verwandtschaft zersetzen, Drähte glühend machen, Eisen magnetisiren u.s.w.

So können wir, wenn uns eine ausreichende mechanische Triebkraft zu Gebote steht, alle diejenigen Zustände und Bedingungen wieder restituiren, von denen ausgehend wir nach der zuerst gegebenen Aufzählung mechanische Triebkraft gewinnen konnten.

Wie aber die aus einem bestimmten Naturprocess zu gewinnende Triebkraft eine begrenzte ist, so ist auch andererseits der Betrag der Veränderungen begrenzt, die wir durch Aufwendung einer bestimmten Triebkraft hervorbringen können.

Diese Erfahrungen, die zunächst vereinzelt an Maschinen und physikalischen Apparaten gemacht waren, haben sich nun vereinigen lassen in ein Naturgesetz von weitreichendster Giltigkeit. Jede Veränderung in der Natur ist äquivalent einer gewissen Erzeugung oder einem gewissen Verbrauch an Triebkraft. Wird Triebkraft erzeugt, so kann sie entweder als solche zur Erscheinung kommen, oder unmittelbar wieder verbraucht werden, um andere Veränderungen von äquivalenter Grösse hervorzubringen. Die hauptsächlichsten Bestimmungen dieser Aequivalenz beruhen auf Joule's Messungen des mechanischen Wärmeäquivalents. Wenn wir eine Dampfmaschine durch zugeleitete Wärme in Bewegung setzen, so verschwindet in ihr Wärme proportional der geleisteten Arbeit; und zwar ist die Wärme, welche ein bestimmtes Gewicht Wasser um einen Grad der hunderttheiligen Scala erwärmen kann, fähig, in Arbeit verwandelt, dasselbe Gewicht Wasser zur Höhe von 425 Meter zu heben. Und wenn wir Arbeit durch Reibung in Wärme verwandeln, brauchen wir wiederum, um ein bestimmtes Gewicht Wasser um einen Centesimalgrad zu erwärmen, die Triebkraft, welche dasselbe Gewicht Wasser gegeben haben würde, wenn es von 425 Meter Höhe herabgeflossen wäre. Die chemischen Processe erzeugen Wärme in bestimmtem Verhältniss; dadurch ist auch die solchen chemischen Kräften äquivalente Triebkraft bestimmt, und somit auch die Energie der chemischen Verwandt-

Digitized by Google

schaftskraft nach mechanischem Maasse messbar. Dasselbe gilt für alle anderen Formen der Naturkräfte, was hier nicht weiter ausgeführt zu werden braucht.

So stellt sich denn in der That als Ergebniss der betreffenden Untersuchungen heraus, dass alle Naturkräfte nach demselben mechanischen Maasse messbar, und dass alle in Bezug auf Arbeitsleistung reinen Bewegungskräften äquivalent sind. Dadurch ist zunächst ein erster und bedeutender Fortschritt zu der Lösung der umfassenden theoretischen Aufgabe, alle Naturerscheinungen auf Bewegungen zurückzuführen, vollführt.

Während die bisher angestellten Ueberlegungen mehr den logischen Werth des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft klarzustellen suchen sollten, spricht sich seine factische Bedeutung für die allgemeine Auffassung der Naturprocesse in dem grossartigen Zusammenhange aus, den es zwischen sämmtlichen Vorgängen des Weltalls über alle Entfernungen in Raum und Zeit hinaus eröffnet. Das Weltall erscheint, nach diesem Gesetze, ausgestattet mit einem Vorrathe an Energie, der durch allen bunten Wechsel der Naturprocesse nicht vermehrt, aber auch nicht vermindert werden kann; der da fortbesteht in stets wechselnder Erscheinungsweise, aber, wie die Materie, von Ewigkeit zu Ewigkeit in unveränderlicher Grösse; wirkend im Raume, aber nicht theilbar, wie die Materie, mit dem Raume. Alle Veränderung in der Welt besteht nur in einem Wechsel der Erscheinungsform dieses Vorraths von Energie. Hier erscheint ein Theil desselben als lebendige Kraft bewegter Massen, dort als regelmässige Oscillation in Licht und Schall, dann wieder als Wärme, das heisst als unregelmässige Bewegung der unsichtbar kleinen Körpertheilchen; bald erscheint die Energie in Form der Schwere zweier gegen einander gravitirenden Massen, bald als innere Spannung und Druck elastischer Körper, bald als chemische Anziehung, elektrische Ladung oder magnetische Vertheilung. Schwindet sie in einer Form, so erscheint sie sicher in einer anderen: und wo sie in neuer Form erscheint, sind wir auch sicher, dass eine ihrer anderen Erscheinungsformen verbraucht ist.

Das von Clausius berichtigte Carnot'sche Gesetz der mechanischen Wärmetheorie lässt uns sogar erkennen, dass dieser Wechsel im Allgemeinen fortdauernd in einer bestimmten Richtung fortschreitet, indem immer mehr von dem grossen Vorrathe der Energie des Weltalls in die Form von Wärme übergehen muss.

Digitized by Google

So können wir im Geiste zurückgehen auf den Anfangszustand, wo die Masse unserer Weltkörper noch kalt, wahrscheinlich als chaotischer Dampf oder Staub im Weltraum vertheilt war. Wir sehen, dass sie sich erwärmen musste, wenn sie sich unter dem Einflusse der Schwerkraft zusammenballte. Auch jetzt noch erkennen wir Reste der lose vertheilten Materie mittels der Spectralanalyse (einer Methode, deren theoretische Principien selbst aus der mechanischen Wärmetheorie herfliessen) in den Nebelflecken, wir erkennen sie in den Meteorschwärmen und Kometen; der Ballungsprocess und die Wärmeentwickelung gehen noch immer fort, wenn sie in unserem Theile des Weltraums auch grösstentheils vollendet sind. Der grösste Theil der ehemaligen Energie der Masse, welche jetzt unserem Sonnensystem angehört, besteht gegenwärtig als Wärme der Sonne. Aber diese Energie bleibt nicht ewig unserem Systeme erhalten; fortdauernd strahlen Theile von ihr hinaus als Licht und Wärme in die unendlichen Welträume. Bei diesem Hinausstrahlen empfängt auch unsere Erde ihren Antheil. Die einstrahlende Sonnenwärme aber ist es, welche an der Erdfläche die Winde und die Meeresströme erzeugt, die die Wasserdämpfe aus den tropischen Meeren aufsteigen und herüber auf Gebirge und Länder destilliren lässt, wonach sie wieder als Quellen und Ströme zum Meere zurückfliessen. Die Sonnenstrahlen geben den Pflanzen die Kraft, aus der Kohlensäure und dem Wasser wieder verbrennliche Stoffe abzuscheiden, welche den Thieren als Nahrung dienen, und so ist auch in dem bunten Wechsel des organischen Lebens die treibende Kraft nur aus dem ewigen grossen Vorrathe des Weltalls herzuleiten.

Dies erhabene Bild des Zusammenhangs aller Naturvorgänge ist in neuerer Zeit oft ausgemalt worden; ich brauche hier nur an seine grossen Züge zu erinnern. Wenn die Aufgabe der Naturwissenschaften ist, die Gesetze zu finden, so ist hier in der That ein Schritt nach vorwärts von umfassendster Bedeutung geschehen.

Die eben erwähnte Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft auf die Vorgänge in Thieren und Pflanzen führt uns zu einer anderen Richtung hinüber, in welcher die Erkenntniss der Gesetzmässigkeit der Natur Fortschritte gemacht hat. Das genannte Gesetz ist nämlich auch in den principiellen Fragen der Physiologie von der eingreifendsten Bedeutung; und eben deshalb wurden R. Mayer und ich selbst gerade von Seite der Physiologie her zu den auf die Erhaltung der Kraft bezüglichen Untersuchungen geführt.

Digitized by Google

Den Erscheinungen der unorganischen Natur gegenüber bestand schon längst kein Zweifel mehr, die Grundsätze der Methode betreffend. Es war klar, dass feste Gesetze der Erscheinungen zu suchen waren, und Beispiele genug waren bekannt, dass solche Gesetze sich finden liessen.

Der grösseren Verwickelung der Lebensvorgänge, ihrer Verbindung mit den Seelenthätigkeiten und der unverkennbaren Zweckmässigkeit der organischen Bildungen gegenüber konnte indessen selbst die Existenz einer festen Gesetzmässigkeit zweifelhaft erscheinen, und in der That hat die Physiologie von jeher mit der Principienfrage gekämpft: Sind alle Lebensvorgänge absolut gesetzmässig? oder giebt es irgend einen kleineren oder grösseren Umkreis derselben, innerhalb dessen Freiheit herrscht? Mehr oder weniger durch Worte verdeckt war und ist, namentlich ausserhalb Deutschlands, noch jetzt die Ansicht von Paracelsus, Helmont und Stahl verbreitet, dass eine „Lebensseele" die organischen Vorgänge regiere, die mehr oder weniger ähnlich begabt sei, wie die bewusste Seele des Menschen. Zwar wurde der Einfluss der unorganischen Naturkräfte auch in den Organismen anerkannt, indem man annahm, dass die Lebensseele Macht über die Materie nur mittels der physikalischen und chemischen Kräfte der Materie selbst habe, und also ohne deren Hilfe nichts ausführen könne, dass ihr aber die Fähigkeit zukomme, die Wirksamkeit dieser Kräfte zu binden und zu lösen, je nachdem es ihr gut scheine.

Nach dem Tode, nicht mehr gebunden durch den Einfluss der Lebensseele oder Lebenskraft, seien es gerade die chemischen Kräfte der organischen Masse, welche die Fäulniss herbeiführten. Uebrigens blieb bei allem Wechsel der Ausdrucksweise, mochte man nun vom Archäus, oder von der Anima inscia, oder von der Lebenskraft und Naturheilkraft sprechen, die Fähigkeit, den Körper planmässig aufzubauen und sich zweckmässig den äusseren Umständen zu accommodiren, das wesentlichste Attribut dieses hypothetischen regierenden Princips der vitalistischen Theorie, für welches deshalb seinen Attributen nach auch nur der Namen einer „Seele" wirklich passte.

Es ist aber klar, dass die genannte Vorstellung dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft direct widerspricht. Könnte die Lebenskraft die Schwere eines Gewichts zeitweilig aufheben, so würde dasselbe ohne Arbeit zu beliebiger Höhe geschafft werden können, und später, wenn die Wirkung seiner Schwere wieder freigegeben wäre, beliebig grosse Arbeit zu leisten vermögen. So wäre

Digitized by Google

Arbeit ohne Gegenleistung aus Nichts zu schaffen. Könnte die Lebenskraft zeitweilig die chemische Anziehung des Kohlenstoffs zum Sauerstoff aufheben, so würde Kohlensäure ohne Arbeitsaufwand zu zerlegen sein, und der freigewordene Kohlenstoff und Sauerstoff wieder neue Arbeit leisten können.

In der That finden wir aber keine Spur davon, dass die lebenden Organismen irgend welches Quantum Arbeit ohne entsprechenden Verbrauch erzeugen könnten. Wenn wir nur auf die Arbeitsleistung Rücksicht nehmen, so sind die Leistungen der Thiere denen der Dampfmaschinen durchaus ähnlich. Die Thiere, wie die genannten Maschinen, können sich bewegen und arbeiten, nur wenn sie fortdauernd Brennmaterial (nämlich Nahrungsmittel) und sauerstoffhaltige Luft zugeführt erhalten; beide geben die aufgenommenen Stoffe in verbranntem Zustande wieder aus, und beide erzeugen dabei Wärme und Arbeit. Die bisherigen Untersuchungen über das Quantum der Wärme, welche ein ruhendes Thier erzeugt, widersprechen auch durchaus nicht der Annahme, dass diese Wärme genau dem Arbeitsäquivalent der in Thätigkeit gesetzten chemischen Verwandtschaftskräfte gleich ist.

Für die Leistungen der Pflanzen ist eine jedenfalls genügend grosse Kraftquelle in den Sonnenstrahlen vorhanden, deren sie bedürfen, um das organische Material ihres Körpers zu vermehren. Indessen sind allerdings für sie sowohl, wie für die Thiere, genaue quantitative Untersuchungen der verbrauchten und erzeugten Kraftäquivalente noch erst auszuführen, um die strenge Uebereinstimmung beider Grössen thatsächlich zu constatiren.

Ist aber das Gesetz von der Erhaltung der Kraft auch für die lebenden Wesen giltig, so folgt daraus, dass die physikalischen und chemischen Kräfte der zum Aufbau ihres Körpers verwendeten Stoffe ohne Unterbrechung und ohne Willkür fortdauernd thätig sind, und dass *ihre strenge Gesetzlichkeit in keinem Augenblicke durchbrochen wird.*

Die Physiologie musste sich also entschliessen mit einer unbedingten Gesetzlichkeit der Naturkräfte auch in der Erforschung der Lebensvorgänge zu rechnen; sie musste Ernst machen mit der Verfolgung der physikalischen und chemischen Processe, die innerhalb der Organismen vor sich gehen. Es ist dies eine ungeheuer verwickelte und weitläufige Arbeit; aber es ist, namentlich in Deutschland, eine grosse Anzahl rüstiger Arbeiter am Werke, und schon können wir sagen, dass der Lohn nicht ausgeblieben ist, und dass das Verständniss der Lebenserscheinungen in den letzten vierzig

Digitized by Google

Jahren grössere Fortschritte gemacht hat, als vorher in zwei Jahrtausenden.

Eine nicht hoch genug zu schätzende Unterstützung für diese Klärung der Grundprincipien der Lehre vom Leben kam von der Seite der beschreibenden Naturwissenschaften durch Darwin's Theorie von der Fortbildung der organischen Formen, indem durch sie die Möglichkeit einer ganz neuen Deutung der organischen Zweckmässigkeit gegeben wurde.

Die in der That ganz wunderbare und vor der wachsenden Wissenschaft immer reicher sich entfaltende Zweckmässigkeit im Aufbau und in den Verrichtungen der lebenden Wesen war wohl das Hauptmotiv gewesen, welches zur Vergleichung der Lebensvorgänge mit den Handlungen eines seelenartig wirkenden Princips herausforderte. Wir kennen in der ganzen uns umgebenden Welt nur eine einzige Reihe von Erscheinungen, die einen ähnlichen Charakter zeigen, das sind die Werke und Handlungen eines intelligenten Menschen; und wir müssen anerkennen, dass in unendlich vielen Fällen die organische Zweckmässigkeit den Fähigkeiten der menschlichen Intelligenz so ausserordentlich überlegen erscheint, dass man ihr eher einen höheren als einen niederen Charakter zuzuschreiben geneigt sein möchte.

Man wusste daher vor Darwin nur zwei Erklärungen der organischen Zweckmässigkeit zu geben, welche aber beide auf Eingriffe freier Intelligenz in den Ablauf der Naturprocesse zurückführten. Entweder betrachtete man der vitalistischen Theorie gemäss die Lebensprocesse als fortdauernd geleitet durch eine Lebensseele; oder aber man griff für jede lebende Species auf einen Act übernatürlicher Intelligenz zurück, durch die sie entstanden sein sollte. Die letztere Ansicht nimmt zwar seltenere Durchbrechungen des gesetzlichen Zusammenhanges der Naturerscheinungen an, und erlaubte die gegenwärtig zu beobachtenden Vorgänge in den jetzt bestehenden Arten lebender Wesen streng wissenschaftlich zu behandeln; aber auch sie wusste jene Durchbrechungen nicht vollständig zu beseitigen, und erfreute sich deshalb kaum einer erheblichen Gunst der vitalistischen Ansicht gegenüber, welche gleichsam durch den Augenschein, das heisst durch das natürliche Streben hinter ähnlichen Erscheinungen auch ähnliche Ursachen zu suchen, mächtig gestützt wurde.

Darwin's Theorie enthält einen wesentlich neuen schöpferischen Gedanken. Sie zeigt, wie Zweckmässigkeit der Bildung in den Organismen auch ohne alle Einmischung von Intelligenz durch

Digitized by Google

das blinde Walten eines Naturgesetzes entstehen kann. Es ist dies das Gesetz der Forterbung der individuellen Eigenthümlichkeiten von den Eltern auf die Nachkommen; ein Gesetz, was längst bekannt und anerkannt war, und nur eine bestimmtere Abgrenzung zu erhalten brauchte. Wenn beide Eltern gemeinsame individuelle Eigenthümlichkeiten haben, so nimmt auch die Majorität ihrer Nachkommen an denselben Theil; und wenn auch einige unter diesen vorkommen, die eine Verminderung der genannten Eigenthümlichkeiten zeigen, so finden sich dagegen unter einer grösseren Anzahl regelmässig auch andere, die eine Steigerung derselben Eigenschaften zeigen. Werden nun vorzugsweise die letzteren zur Erzeugung neuer Nachzucht benutzt, so kann eine immer weiter und weiter gehende Steigerung solcher Eigenthümlichkeiten erzielt und vererbt werden. In der That ist dies das Verfahren, welches Thierzüchter und Gärtner anwenden, um mit grosser Sicherheit neue Racen und Varietäten mit sehr merklich abweichenden Eigenschaften zu erziehen. Die Erfahrungen der künstlichen Züchtung sind wissenschaftlich als eine Bestätigung des angeführten Gesetzes durch das Experiment zu betrachten; und zwar ist dieses Experiment mit Arten aus allen Classen der organischen Reiche, in einer ungeheuren Anzahl von Fällen und in Beziehung auf die verschiedensten Organe des Körpers schon geglückt, und wird fortdauernd tausendfältig wiederholt.

Nachdem auf diese Weise die allgemeine Wirksamkeit des Erblichkeitsgesetzes festgestellt war, handelte es sich für Darwin nur noch darum, zu discutiren, welche Folgen dasselbe Gesetz für die wild lebenden Thiere und Pflanzen haben müsse. Das bekannte Ergebniss ist, dass diejenigen Individuen, welche im Kampfe um das Dasein sich durch irgend welche vortheilhafte Eigenschaften auszeichnen, auch am meisten Wahrscheinlichkeit haben, Nachkommenschaft zu erzeugen, und dieser ihre vortheilhaften Eigenschaften zu vererben. Dadurch ist also eine allmälig von Generation zu Generation sich vervollkommnende Anpassung jeder Art lebender Wesen an die Umstände bedingt, unter denen sie zu leben haben, bis ihr Typus so weit ausgebildet ist, dass jede erhebliche Abweichung von ihm unvortheilhaft wird. Dann wird derselbe fest für so lange Zeit, als die äusseren Bedingungen seiner Existenz im Wesentlichen unverändert bleiben. Einen solchen nahehin festen Zustand scheinen die jetzt lebenden Geschöpfe erreicht zu haben; daher die Constanz der Species wenigstens für die Zeiten der Menschengeschichte vorwiegend beobachtet wird.

Digitized by Google

Noch besteht lebhafter Streit um die Wahrheit oder Wahrscheinlichkeit von Darwin's Theorie; er dreht sich aber doch eigentlich nur um die Grenzen, welche wir für die Veränderlichkeit der Arten annehmen dürfen. Dass innerhalb derselben Species erbliche Racenverschiedenheiten auf die von Darwin beschriebene Weise zu Stande kommen können, ja dass viele der bisher als verschiedene Species derselben Gattung betrachteten Formen von derselben Urform abstammen, werden auch seine Gegner kaum leugnen. Ob wir uns aber hierauf beschränken müssen, oder ob wir vielleicht alle Säugethiere von einem ersten Beutelthier, oder auch weiter alle Wirbelthiere von einem ersten Lancettfischchen, oder gar alle Thiere und Pflanzen zusammengenommen aus dem schleimigen Protoplasma eines Eozoon ableiten dürfen, darüber entscheiden im Augenblicke allerdings mehr die Neigungen der einzelnen Forscher, als die Thatsachen. Doch häufen sich schon immer mehr die Bindeglieder zwischen den Classen von scheinbar unvereinbarem Typus; schon sind wirklich nachweisbare Uebergänge sehr verschiedener Formen in einander in regelmässig gelagerten geologischen Schichten gefunden worden, und es wächst unverkennbar, seitdem man danach sucht, die Zahl der Thatsachen, welche mit Darwin's Theorie wohl übereinstimmen und ihr im Einzelnen immer speciellere Ausführung geben.

Daneben wollen wir nicht vergessen, welch' klares Verständniss Darwin's grosser Gedanke in die bis dahin so mysteriösen Begriffe der natürlichen Verwandtschaft, des natürlichen Systems und der Homologie der Organe bei verschiedenen Thieren gebracht hat; wie die wunderbare Wiederholung der niederen Thierbildungen bei den Embryonen der höheren, die der natürlichen Verwandtschaft folgende Entwickelung der paläontologischen Formen, die eigenthümlichen Verwandtschaftsverhältnisse innerhalb der geographisch beschränkten Faunen und Floren sich aus ihm erklärt haben. Die natürliche Verwandtschaft erschien sonst nur als eine räthselhafte aber vollkommen grundlose Aehnlichkeit der Formen; jetzt ist sie zur wirklichen Blutsverwandtschaft geworden. Das natürliche System drang sich zwar der Anschauung als solches auf, aber die Theorie leugnete eigentlich jede reelle Bedeutung desselben; jetzt erhält es die Bedeutung eines wirklichen Stammbaums der Organismen. Die Thatsachen der paläontologischen und embryologischen Entwickelung, der geographischen Vertheilung waren räthselhafte Wunderlichkeiten, so lange man jede einzelne Species durch einen unabhängigen Schöpfungsact er-

Digitized by Google

zeugt glaubte, oder warfen gar ein kaum vortheilhaft zu nennendes Licht auf das seltsam herumtastende Verfahren, welches dem Weltenschöpfer dabei zugemuthet wurde. Darwin hat alle diese vereinzelten Gebiete aus dem Zustande einer Anhäufung räthselhafter Wunderlichkeiten in den Zusammenhang einer grossen Entwickelung erhoben, und an die Stelle einer Art von künstlerischer Anschauung oder Ahnung, wie sie für die Thatsachen der vergleichenden Anatomie und der Morphologie der Pflanzen schon für Goethe als einen der ersten aufgegangen war, bestimmte Begriffe gesetzt.

Damit ist auch die Möglichkeit bestimmter Fragestellung für die weitere Forschung gegeben, ein grosser Gewinn jedenfalls, auch wenn sich herausstellen sollte, dass Darwin's Theorie nicht die ganze Wahrheit umfasst, und dass vielleicht neben den von ihm aufgewiesenen Einflüssen noch andere bei der Umformung der organischen Formen sich geltend gemacht haben sollten.

Während Darwin's Theorie sich ausschliesslich auf die durch die Reihe der geschlechtlichen Zeugungen eintretende allmälige Umformung der Arten bezieht, ist bekannt, dass auch das einzelne Individuum sich den Bedingungen, unter denen es zu leben hat, bis zu einem gewissen Grade anpasst, oder, wie wir zu sagen pflegen, eingewöhnt; dass also auch noch während des einzelnen Lebens eines Individuums eine gewisse höhere Ausbildung der organischen Zweckmässigkeit gewonnen werden kann. Und gerade in demjenigen Gebiete des organischen Lebens, wo die Zweckmässigkeit seiner Bildungen den höchsten Grad erreicht und die meiste Bewunderung erregt hat, nämlich im Gebiete der Sinneswahrnehmungen, lehren die neueren Fortschritte der Physiologie, dass diese individuelle Anpassung eine ganz hervorragende Rolle spielt.

Wer hat nicht schon die Treue und Genauigkeit der Nachrichten bewundert. welche unsere Sinne uns von der umgebenden Welt zuführen, vor allen die des in die Ferne dringenden Auges. Diese Nachrichten sind ja die Voraussetzungen für die Entschlüsse, die wir fassen, für die Handlungen, die wir ausführen; und nur wenn unsere Sinne uns richtige Wahrnehmungen zugeführt haben, können wir erwarten, richtig zu handeln, so dass der Erfolg unseren Erwartungen entspricht. Durch den Erfolg unserer Handlungen prüfen wir immer wieder die Treue der Berichte, welche die Sinne uns geben, und millionenfach wiederholte Erfahrung lehrt uns, dass diese Treue sehr gross, fast ausnahmslos ist. Wenigstens sind die Ausnahmen, die sogenannten Sinnestäuschungen, selten,

Digitized by Google

und werden nur durch ganz besondere und ungewöhnliche Bedingungen herbeigeführt.

So oft wir die Hand ausstrecken, um etwas zu ergreifen, oder den Fuss vorsetzen, um auf einen Gegenstand zu treten, müssen wir vorher richtige Gesichtsbilder über die Lage des zu berührenden Gegenstandes, seine Form, seine Entfernung u. s. w. gebildet haben, sonst würden wir fehlgreifen, oder fehltreten. Die Sicherheit und Genauigkeit unserer Sinneswahrnehmungen muss mindestens so weit gehen, als die Sicherheit und Genauigkeit, welche unsere Handlungen bei guter Einübung erreichen können; und der Glaube an die Zuverlässigkeit unserer Sinne ist deshalb kein blinder Glaube, sondern ein nach seiner praktischen Richtigkeit durch unzählbare Versuche immer wieder geprüfter und bewährter.

Ist nun diese Uebereinstimmung zwischen den Sinneswahrnehmungen und ihren Objecten, diese Grundlage aller unserer Erkenntnisse, ein vorbereitetes Product der organischen Schöpfungskraft: so hat hier in der That deren zweckmässiges Bilden den Gipfel seiner Vollendung erreicht. Aber gerade hier hat die Untersuchung der wirklichen Thatsachen den Glauben an die vorbestimmte Harmonie der inneren und äusseren Welt auf das unbarmherzigste in Stücke zerschlagen.

Ich schweige von dem immerhin unerwarteten Ergebnisse der ophthalmometrischen und optischen Untersuchungen, wonach das Auge keineswegs ein vollkommeneres optisches Instrument ist, als die von Menschenhänden gemachten, im Gegentheil ausser den unvermeidlichen Fehlern eines jeden dioptrischen Instruments auch solche zeigt, die wir an einem künstlichen Instrumente bitter tadeln würden; dass auch das Ohr uns die äusseren Töne keineswegs im Verhältnisse ihrer wirklichen Stärke zuträgt, sondern sie eigenthümlich zerlegt, verändert und nach der Verschiedenheit ihrer Höhe in sehr verschiedenem Maasse verstärkt oder schwächt.

Diese Abweichungen verschwinden gegen diejenigen, welche wir finden, wenn wir die Qualitäten der Sinnesempfindungen untersuchen, durch welche uns von den verschiedenen Eigenschaften der äusseren Dinge Kunde gegeben wird. In Bezug auf letztere können wir geradezu den Beweis führen, dass gar keine Art und kein Grad von Aehnlichkeit besteht zwischen der Qualität einer Sinnesempfindung und der Qualität des äusseren Agens, durch welches sie erregt ist, und welches durch sie abgebildet wird.

Es war dies der Hauptsache nach schon durch das von Jo-

Digitized by Google

hannes Müller aufgestellte Gesetz von den specifischen Sinnesenergien dargelegt worden. Danach kommt jedem Sinnesnerven eine eigenthümliche Weise der Empfindung zu; jeder kann zwar durch eine ganze Anzahl von Erregungsmitteln in Thätigkeit gebracht werden, aber dasselbe Erregungsmittel kann meist auch verschiedene Sinnesorgane afficiren; und wie dies auch geschehen mag, immer entsteht im Sehnerven nur Lichtempfindung, im Hörnerven nur Tonempfindung, überhaupt in jedem einzelnen empfindenden Nerven nur eine seiner besonderen specifischen Energie entsprechende Empfindung. Die allereingreifendsten Unterschiede der Qualitäten der Empfindung, nämlich die zwischen den Empfindungen verschiedener Sinne, hängen also durchaus nicht von der Natur des äusseren Erregungsmittels, sondern nur von der Natur des getroffenen Nervenapparates ab.

Die Tragweite dieses Müller'schen Gesetzes ist durch die weiteren Forschungen nur vergrössert worden. Es ist höchst wahrscheinlich geworden, dass selbst die Empfindungen verschiedener Farben und verschiedener Tonhöhen, also auch die qualitativen Unterschiede der Lichtempfindungen unter einander und der Tonempfindungen unter einander, von der Erregung verschiedener und mit verschiedenen specifischen Energien begabter Fasersysteme des Sehnerven, beziehlich des Hörnerven abhängen. Die unendlich viel grössere objective Mannigfaltigkeit der Lichtmischungen wird dadurch in der Empfindung auf eine nur dreifache Verschiedenartigkeit, nämlich auf die der Mischungen von drei Grundfarben, zurückgeführt. Wegen dieser Reducirung der Unterschiede können sehr verschiedene Lichtmischungen gleich aussehen. Dabei hat sich dann gezeigt, dass keinerlei Art von physikalischer Gleichheit der subjectiven Gleichheit verschieden gemischter Lichtmengen von gleicher Farbe entspricht. Es geht aus diesen und ähnlichen Thatsachen die überaus wichtige Folgerung hervor, dass unsere Empfindungen nach ihrer Qualität nur Zeichen für die äusseren Objecte sind, und durchaus nicht Abbilder von irgend einem Grade der Aehnlichkeit. Ein Bild muss in irgend einer Beziehung seinem Objecte gleichartig sein; wie zum Beispiel eine Statue mit dem abgebildeten Menschen gleiche Körperform, ein Gemälde gleiche Farbe und gleiche perspectivische Projection hat. Für ein Zeichen genügt es, dass es zur Erscheinung kommt, so oft der zu bezeichnende Vorgang eintritt, ohne dass irgend welche andere Art von Uebereinstimmung, als die Gleichzeitigkeit des Auftretens zwischen ihnen existirt; nur von dieser letzteren Art

Digitized by Google

ist die Correspondenz zwischen unseren Sinnesempfindungen und ihren Objecten. Sie sind Zeichen, welche wir lesen gelernt haben, sie sind eine durch unsere Organisation uns mitgegebene Sprache, in der die Aussendinge zu uns reden; aber diese Sprache müssen wir durch Uebung und Erfahrung verstehen lernen, eben so gut wie unsere Muttersprache.

Und nicht bloss mit den qualitativen Unterschieden der Empfindungen verhält es sich so, sondern auch jedenfalls mit dem grössten und wichtigsten Theil, wenn nicht mit der Gesammtheit der räumlichen Unterschiede in unseren Wahrnehmungen. In dieser Beziehung ist namentlich die neuere Lehre vom binocularen Sehen und die Erfindung des Stereoskops von Wichtigkeit geworden. Was die Empfindung der beiden Augen uns unmittelbar und ohne Vermittelung psychischer Thätigkeiten liefern könnte, wären höchstens zwei etwas verschiedene flächenhafte Bilder der Aussenwelt von je zwei Dimensionen, wie sie auf den beiden Netzhäuten liegen; statt dessen finden wir in unserer Anschauung ein räumliches Bild der uns umgebenden Welt von drei Dimensionen vor. Wir erkennen sinnlich eben so gut die Entfernung der nicht allzu entfernten Gegenstände von uns, wie ihr perspectivisches Nebeneinanderstehen, und vergleichen die wahre Grösse zweier verschieden weit entfernter Objecte von ungleicher scheinbarer Grösse viel sicherer mit einander, als die gleiche scheinbare Grösse eines Fingers etwa und des Mondes.

Eine vor allen einzelnen Thatsachen stichhaltende Erklärung der räumlichen Gesichtswahrnehmungen gelingt es meines Erachtens nur zu geben, wenn man mit Lotze annimmt, dass den Empfindungen der räumlich verschieden gelagerten Nervenfasern gewisse Verschiedenheiten, Localzeichen, anhaften, deren Raumbedeutung von uns gelernt wird. Dass eine Kenntniss dieser Bedeutung unter solchen Voraussetzungen und unter Beihilfe der Bewegungen unseres Körpers gewonnen werden kann, und dass dabei gleichzeitig zu lernen ist, wie die Bewegungen richtig ausgeführt werden, um ihren erwarteten Erfolg zu erreichen und dessen Erreichung wahrzunehmen, ist von mehreren Seiten ausgeführt worden.

Dass die Erfahrung bei der Deutung der Gesichtsbilder ausserordentlich einflussreich ist, und im Falle des Zweifels meist endgiltig entscheidet, geben auch diejenigen Physiologen zu, welche möglichst viel von der angeborenen Harmonie der Sinne mit der Aussenwelt retten möchten. Der Streit bewegt sich gegenwärtig

Digitized by Google

fast nur noch um die Frage, wie breit beim Neugeborenen etwa die Einmischung angeborener Triebe ist, welche die Einübung in das Verständniss der Sinnesempfindungen erleichtern könnten. Nothwendig ist die Annahme solcher Triebe nicht; ja sie erschwert eher die Erklärung der gut beobachteten Phänomene beim Erwachsenen, als dass sie sie erleichtert [1]).

Daraus geht nun hervor, dass diese feine und viel bewunderte Harmonie zwischen unseren Sinneswahrnehmungen und ihren Objecten im Wesentlichen und mit nur zweifelhaften Ausnahmen eine individuell erworbene Anpassung ist, ein Product der Erfahrung, der Einübung, der Erinnerung an die früheren Fälle ähnlicher Art.

Hier schliesst sich der Ring unserer Betrachtungen wieder zusammen und führt zu seinem Ausgangspunkt zurück. Wir sahen im Anfange, dass das, was unsere Wissenschaft zu erstreben hat, die Kenntniss der Gesetze sei, das heisst die Kenntniss, wie zu verschiedenen Zeiten auf gleiche Vorbedingungen gleiche Folgen eintreten. Wir sahen, wie in letzter Instanz alle Gesetze in Gesetze der Bewegung aufgelöst werden müssen. Wir sehen nun hier am Schlusse, dass unsere Sinnesempfindungen nur Zeichen für die Veränderungen in der Aussenwelt sind, und nur in der Darstellung der zeitlichen Folge die Bedeutung von Bildern haben. Eben deshalb sind sie aber auch im Stande, die Gesetzmässigkeit in der zeitlichen Folge der Naturphänomene direct abzubilden. Wenn unter gleichen Umständen in der Natur die gleiche Wirkung eintritt, so wird auch der unter gleichen Umständen beobachtende Mensch die gleiche Folge von Eindrücken sich gesetzmässig wiederholen sehen. So genügt, was unsere Sinnesorgane leisten, gerade für die Erfüllung der Aufgabe der Wissenschaft, und genügt auch gerade für die praktischen Zwecke des handelnden Menschen, der sich auf die theils unwillkürlich durch die alltägliche Erfahrung, theils absichtlich durch die Wissenschaft erworbene Kenntniss der Naturgesetze stützen muss.

Indem wir hiermit unsere Uebersicht schliessen, dürfen wir wohl ein uns befriedigendes Facit ziehen. Die Wissenschaft von der Natur ist rüstig vorgeschritten, und zwar nicht nur zu vereinzelten Zielen, sondern in einem gemeinsamen grossen Zusammenhange; das schon Geleistete mag die Erreichung weiterer Fortschritte verbürgen. Die Zweifel an der vollen Gesetzmässigkeit

[1]) Eine weitere Ausführung über diese Verhältnisse findet sich in meinen drei Vorlesungen über die neuern Fortschritte in der Theorie des Sehens (Seite 233 dieses Bandes).

Digitized by Google

der Natur sind immer mehr zurückgedrängt worden, immer allgemeinere und umfassendere Gesetze haben sich enthüllt. Dass diese Richtung des wissenschaftlichen Strebens eine gesunde ist, haben namentlich ihre grossen praktischen Folgen deutlich erwiesen; und hier mag es mir erlaubt sein, die von mir speciell vertretene Wissenschaft besonders hervorzuheben. Gerade in der Physiologie war die wissenschaftliche Arbeit durch die Zweifel an der nothwendigen Gesetzlichkeit, das heisst also an der Begreiflichkeit der Lebenserscheinungen von lähmendem Einflusse gewesen, und derselbe erstreckte sich natürlich auch auf die von der Physiologie abhängende praktische Wissenschaft, die Medicin. Beide haben einen seit Jahrtausenden nicht dagewesenen Aufschwung gewonnen, seit man mit Ernst und Eifer sich der naturwissenschaftlichen Methode, der genauen Beobachtung der Erscheinungen, dem Versuch zugewendet hat. Ich kann als früherer praktischer Arzt persönlich davon Zeugniss ablegen. Meine Ausbildung fiel in eine Entwickelungsperiode der Medicin, wo bei den nachdenkenden und gewissenhaften Köpfen völlige Verzweiflung herrschte. Dass die alten, überwiegend theoretisirenden Methoden, die Medicin zu betreiben, gänzlich haltlos waren, war nicht schwer zu erkennen; mit diesen Theorien aber waren die wirklich ihnen zu Grunde liegenden Erfahrungsthatsachen so unentwirrbar verstrickt, dass auch diese meist über Bord geworfen wurden. Wie man die Wissenschaft neu erbauen müsse, war an dem Beispiel der übrigen Naturwissenschaften wohl klar geworden; aber die neue Aufgabe stand riesengross vor uns, sie zu überwältigen war kaum ein Anfang gemacht, und diese ersten Anfänge waren zum Theil recht grob und ungeschickt. Wir dürfen uns nicht wundern, wenn viele redliche und ernsthaft denkende Männer sich damals in Unbefriedigung von der Medicin abwendeten, oder grundsätzlich sich einem übertriebenen Empirismus ergaben.

Aber die rechte Arbeit brachte auch schneller ihre rechten Früchte, als es von Vielen gehofft wurde. Die Einführung der mechanischen Begriffe in die Lehre von der Circulation und Respiration, das bessere Verständniss der Wärmeerscheinungen, die feiner ausgebildete Physiologie der Nerven ergaben schnell praktische Consequenzen von der grössten Wichtigkeit; die mikroskopische Untersuchung der parasitischen Gewebeformen, die grossartige Entwickelung der pathologischen Anatomie lenkten von nebelhaften Theorien unwiderstehlich auf die Wirklichkeit hin. Hier fand man viel bestimmtere Unterschiede und ein viel deut-

Digitized by Google

licheres Verständniss des Mechanismus der Krankheitsprocesse, als es das Pulszählen, die Harnsedimente und der Fiebertypus der älteren Medicin je gegeben hatten. Darf ich einen Zweig der Medicin nennen, in welchem sich der Einfluss der naturwissenschaftlichen Methode wohl am glänzendsten gezeigt hat, so ist es die Augenheilkunde. Die eigenthümliche Beschaffenheit des Auges begünstigt die Anwendung physikalischer Untersuchungsmethoden, sowohl für die functionellen, wie für die anatomischen Störungen des lebenden Organs. Einfache physikalische Hilfsmittel, Brillen, bald sphärisch, bald cylindrisch, bald prismatisch, genügen in vielen Fällen zur Beseitigung von Missständen, die einer früheren Zeit das Organ dauernd leistungsunfähig erscheinen liessen; andererseits sind eine grosse Anzahl von Veränderungen, die früher erst zu erkennen waren, wenn sie unheilbare Blindheit herbeigeführt hatten, jetzt in ihren Anfängen sicher zu entdecken und zu beseitigen. Die Augenheilkunde hat auch wohl eben deshalb, weil sie der wissenschaftlichen Methode die günstigsten Anhaltspunkte darbietet, besonders viele ausgezeichnete Forscher angezogen und sich schnell zu ihrer jetzigen Stellung entwickelt, in der sie den übrigen Zweigen der Medicin etwa ebenso als leuchtendes Beispiel der Leistungsfähigkeit der ächten Methode vorangeht, wie es lange Zeit die Astronomie den übrigen Naturwissenschaften that.

Während in der Erforschung der unorganischen Natur die verschiedenen Nationen Europas ziemlich gleichmässig vorschritten, gehört die neuere Entwickelung der Physiologie und Medicin vorzugsweise Deutschland an. Ich habe die Hindernisse schon bezeichnet, welche dem Fortschritt in diesen Gebieten früher entgegenstanden. Die Fragen über die Natur des Lebens hängen eng mit psychologischen und ethischen Fragen zusammen. Zunächst handelt es sich freilich auch hier um den unermüdlichen Fleiss, der für rein ideale Zwecke und ohne nahe Aussicht auf praktischen Nutzen der reinen Wissenschaft zugewendet werden muss. Und wir dürfen es ja wohl von uns rühmen, dass gerade durch diesen begeisterten und entsagenden Fleiss, der für die innere Befriedigung und nicht für den äusseren Erfolg arbeitet, sich die deutschen Forscher von jeher ausgezeichnet haben.

Aber das Entscheidende war meiner Meinung nach in diesem Falle etwas Anderes, nämlich, dass bei uns eine grössere Furchtlosigkeit herrscht vor den Consequenzen der ganzen und vollen Wahrheit, als anderswo. Auch in England und Frankreich giebt es ausgezeichnete Forscher, welche mit voller Energie in dem rechten Sinne

Digitized by Google

der naturwissenschaftlichen Methode zu arbeiten im Stande wären; aber sie mussten sich bisher fast immer beugen vor gesellschaftlichen und kirchlichen Vorurtheilen, und konnten, wenn sie ihre Ueberzeugung offen aussprechen wollten, dies nur zum Schaden ihres gesellschaftlichen Einflusses und ihrer Wirksamkeit thun.

Deutschland ist kühner vorgegangen; es hat das Vertrauen gehabt, welches noch nie getäuscht worden ist, dass die vollerkannte Wahrheit auch die Heilmittel mit sich führt gegen die Gefahren und Nachtheile, welche das halbe Erkennen der Wahrheit hier und da mit sich bringen mag. Ein arbeitsfrohes, mässiges, sittenstrenges Volk darf solche Kühnheit üben, es darf der Wahrheit voll in das Antlitz zu schauen suchen; es geht nicht zu Grunde an der Aufstellung einiger voreiligen und einseitigen Theorien, wenn diese auch die Grundlagen der Sittlichkeit und der Gesellschaft anzutasten scheinen sollten.

Wir stehen hier nahe an den Südgrenzen des deutschen Vaterlandes. In der Wissenschaft brauchen wir ja wohl nicht nach politischen Grenzen zu fragen, sondern da reicht unser Vaterland so weit, als die deutsche Zunge klingt, als deutscher Fleiss und deutsche Unerschrockenheit im Ringen nach Wahrheit Anklang finden. Und dass sie hier Anklang finden, haben wir aus der gastlichen Aufnahme und aus den begeisterten Worten, mit denen wir begrüsst wurden, erkennen können. Eine junge medicinische Facultät wird hier gebildet. Wir wollen ihr den Wunsch auf ihren Lebensweg mitgeben, dass sie sich kräftig entwickeln möge in diesen Cardinaltugenden deutscher Wissenschaft; dann wird sie die Heilmittel nicht nur für körperliche Leiden zu finden wissen; dann wird sie ein belebendes Centrum sein für die Stärkung der geistigen Selbstständigkeit, Ueberzeugungstreue und Wahrheitsliebe, ein Centrum auch zur Stärkung des Gefühls für den Zusammenhang mit dem grossen Vaterlande.

Digitized by Google

Digitized by Google

ÜBER

DAS SEHEN DES MENSCHEN.

Ein populär wissenschaftlicher Vortrag,

gehalten

zu Königsberg in Pr. zum Besten von Kant's Denkmal

am 27. Februar 1855.

Digitized by Google

Digitized by Google

Geehrte Versammlung!

Es hat uns hier das Andenken eines Mannes vereint, welcher vielleicht mehr, als irgend ein anderer, dazu beigetragen hat, den Namen unserer Stadt unauflöslich mit der Culturgeschichte der Menschheit zu verknüpfen, das Andenken Kant's, des Philosophen. Ihm wünschen wir ein Denkmal zu setzen, welches fortan verkünden soll, dass unsere Zeit und unsere Stadt eine dankbare und ehrende Erinnerung für Männer hat, denen sie wissenschaftlichen Fortschritt und Belehrung verdankt. Ihm will auch ich durch meine heutige Bemühung einen Zoll der Achtung und Verehrung darzubringen suchen. — Wie? der Naturforscher dem Philosophen? wird vielleicht mancher von Ihnen fragen, der einigermaassen mit den wissenschaftlichen Richtungen der neueren Zeit bekannt ist. Weiss man nicht allgemein, dass Naturforscher und Philosophen gegenwärtig nicht gerade gute Freunde sind, wenigstens in ihren wissenschaftlichen Arbeiten? Weiss man nicht, dass zwischen beiden lange Zeit hindurch ein erbitterter Streit geführt worden ist, der neuerdings zwar aufgehört zu haben scheint, aber jedenfalls nicht deshalb, weil eine Partei die andere überzeugt hätte, sondern, weil jede die andere zu überzeugen verzweifelt ist? Man hört die Naturforscher sich gern und laut dessen rühmen, die grossen Fortschritte ihrer Wissenschaft in der neuesten Zeit hätten angehoben von dem Augenblicke, wo sie ihr Gebiet von den Einflüssen der Naturphilosophie ganz und vollständig gereinigt hätten. Solche unter Ihnen, welche diese Verhältnisse kennen, werden sie nicht denken, eigentlich sei es nicht ein herzlicher Antheil an der Sache, der mich heute hierher führe, sondern es seien äussere Rücksichten auf die Stadt, die Hochschule, der Kant einst angehörte, und der auch ich

Digitized by Google

gegenwärtig anzugehören die Ehre habe, vielleicht sei es auch die gewöhnliche Klugheit kämpfender Parteien, dadurch ein gutes Licht auf sich selbst zu werfen, dass sie unschädlich gewordene Gegner rühmen und ehren?

Ich aber versichere Ihnen, dass es nicht bloss äussere Rücksichten oder verdeckte Gegnerschaft sind, die mich leiten, sondern volle Anerkennung und Hochachtung. Ich habe deshalb für meinen heutigen Vortrag einen Gegenstand gewählt, an dem Sie erkennen sollen, wie die Gedanken des grossen Philosophen auch noch gegenwärtig in Zweigen der Wissenschaft fortleben und sich entwickeln, wo man es vielleicht nicht erwartet haben sollte. Die principielle Spaltung, welche jetzt Philosophie und Naturwissenschaften trennt, bestand noch nicht zu Kant's Zeiten. Kant stand in Beziehung auf die Naturwissenschaften mit den Naturforschern auf genau denselben Grundlagen, er selbst interessirte sich lebhaft für Newton's Theorie der Bewegungen der Weltkörper, für dieses grossartigste Gedankenwerk, welches der menschliche Verstand bis dahin erbaut hatte, in welchem aus der einfachsten Grundlage, der allgemeinen Gravitationskraft, sich in strengster Folgerichtigkeit die unendliche Mannigfaltigkeit der himmlischen Bewegungen entwickelt, und welches gleichsam als das Vorbild für alle späteren naturwissenschaftlichen Theorien betrachtet werden kann. Ja Kant versuchte selbst, ganz in Newton's Sinne, eine Hypothese über die Entstehung unseres Planetensystems unter der Einwirkung der Gravitationskraft auszubilden, ein Versuch, der uns sogar berechtigen könnte, den Philosophen auch unter die Zahl der Naturforscher zu setzen.

Die Naturwissenschaften stehen noch jetzt fest auf denselben Grundsätzen, die sie zu Kant's Zeiten hatten, und zu deren fruchtbarer Anwendung Newton das grosse Beispiel gegeben hat, sie haben sich nur reicher entfaltet, und ihre Grundsätze an einer immer grösseren Fülle von Einzelheiten geltend gemacht. Aber die Philosophie hat ihre Stellung zu ihnen verändert. Kant's Philosophie beabsichtigte nicht, die Zahl unserer Kenntnisse durch das reine Denken zu vermehren, denn ihr oberster Satz war, dass alle Erkenntniss der Wirklichkeit aus der Erfahrung geschöpft werden müsse, sondern sie beabsichtigte nur, die Quellen unseres Wissens und den Grad seiner Berechtigung zu untersuchen, ein Geschäft, welches immer der Philosophie verbleiben wird, und dem sich kein Zeitalter ungestraft wird entziehen können.

Digitized by Google

Auch Fichte, der gewaltige Denker, welcher unter Kant's Auspicien seine wissenschaftliche Laufbahn ebenfalls in unserer Stadt begonnen hatte, so fremd und schroff er sich auch der gemeinen Anschauungsweise der Welt entgegenstellt, befindet sich, soweit ich urtheilen kann, in keinem principiellen Gegensatze gegen die Naturwissenschaften, vielmehr ist seine Darstellung der sinnlichen Wahrnehmung in der genauesten Uebereinstimmung mit den Schlüssen, welche später die Physiologie der Sinnesorgane aus den Thatsachen der Erfahrung gezogen hat, und von denen ich Ihnen einen Theil heut vorzulegen denke.

Aber als nach seinem Tode Schelling die Wissenschaft des südlichen, Hegel die des nördlichen Deutschlands beherrschte, hub der Zwist an. Nicht mehr zufrieden mit der Stellung, welche Kant ihr angewiesen hatte, glaubte die Philosophie neue Wege entdeckt zu haben, um die Resultate, zu denen die Erfahrungswissenschaften schliesslich gelangen müssten, im Voraus auch ohne Erfahrung durch das reine Denken finden zu können. Sie verzweifelte nicht, alle höchsten Fragen über Himmel und Erde, Gegenwart und Zukunft in ihr Bereich ziehen zu können. Der Gegensatz dieser Schulen gegen die wissenschaftlichen Grundsätze der Naturforschung sprach sich namentlich deutlich in der höchst unphilosophisch leidenschaftlichen Polemik Hegel's und einiger seiner Schüler gegen Newton und dessen Theorien aus. Die Naturwissenschaften, welche damals neben dem überwiegend philosophischen Interesse der Gebildeten in Deutschland wenig gepflegt waren, unterlagen meistens. Wer sollte nicht den kurzen, selbstschöpferischen Weg des reinen Denkens der mühevollen, langsam fortschreitenden Tagelöhnerarbeit der Naturforschung vorzuziehen geneigt sein? Wenige ehrenvolle Ausnahmen unter den deutschen Naturforschern, v. Humboldt, Erman, Pfaff, kämpften beharrlich, aber vereinzelt gegen das, was man Philosophie der Natur nannte, bis endlich der grosse Aufschwung der Naturwissenschaften in den europäischen Nachbarländern auch Deutschland mit sich fortriss.

Die Philosophie hatte Alles in Anspruch nehmen wollen, jetzt ist man kaum noch geneigt, ihr einzuräumen, was ihr wohl mit Recht zukommen möchte. Aber darf es wundern, wenn auf die überfliegenden Hoffnungen tiefe Niedergeschlagenheit folgte, wenn man die jüngsten Systeme der Philosophie mit der Philosophie überhaupt verwechselt, und das Misstrauen gegen jene auf die ganze Wissenschaft überträgt?

Digitized by Google

Der Punkt, an dem sich Philosophie und Naturwissenschaften am nächsten berühren, ist die Lehre von den sinnlichen Wahrnehmungen des Menschen. Ich will mich daher bemühen, Ihnen die Resultate der Naturwissenschaften für das Sinnesorgan darzulegen, dessen Verrichtungen bisher am vollständigsten untersucht werden konnten, nämlich das Auge. Sie werden dann selbst urtheilen können, in welchem Verhältnisse hier die Ergebnisse der Erfahrung zu denen der Philosophen stehen.

Das Auge ist ein von der Natur gebildetes optisches Instrument, eine natürliche Camera obscura. Ich setze voraus, dass der grösste Theil meiner Zuhörer schon Daguerre'sche oder photographische Bilder hat anfertigen sehen, und sich das Instrument ein wenig betrachtet hat, welches dazu gebraucht wird. Dieses Instrument ist eine Camera obscura. Sein Bau ist ausserordentlich einfach; es ist im Wesentlichen nichts als ein innen geschwärzter Kasten von Holz, an dessen einer Seite eine Glaslinse eingesetzt ist, und auf dessen entgegengesetzter Seite sich eine mattgeschliffene Glastafel befindet. Wenn die Seite des Kastens, welche die Linse enthält, nach irgend einem gut beleuchteten entfernteren Gegenstande hingewendet wird, sieht man ein verkleinertes, bei richtiger Einstellung des Instruments sehr scharf gezeichnetes und mit den natürlichen Farben geschmücktes, aber auf dem Kopfe stehendes Bild des Gegenstandes auf der matten Glastafel entworfen. Nachdem der Photograph seinem Instrumente die richtige Stellung gegeben hat, entfernt er die Glastafel, und bringt an ihre Stelle die bearbeitete Silberplatte, so dass sich auf dieser dasselbe Bild entwirft, wie vorher auf der Glasplatte. Auf der Silberplatte bleibt das Bild sichtbar erhalten, weil ihre Oberfläche an den helleren Theilen des Bildes durch die Einwirkung des Lichts eigenthümlich verändert wird. Die allgemein bekannten Lichtbilder sind also in der That nur fixirte Bilder einer Camera obscura.

Ein eben solches Instrument ist nun das Auge; der einzige wesentliche Unterschied mit demjenigen, welches beim Photographiren gebraucht wird, besteht darin, dass statt der matten Glastafel oder lichtempfindlichen Platte im Hintergrunde des Auges die empfindliche Nervenhaut oder Netzhaut liegt, in welcher das Licht Empfindungen hervorruft, die durch die im Sehnerven zusammengefassten Nervenfasern der Netzhaut dem Gehirn, als dem körperlichen Organe des Bewusstseins, zugeführt werden. In der äusseren Form weicht die natürliche Camera obscura von

Digitized by Google

der künstlichen wohl ab, statt des viereckigen Holzkastens finden Sie den runden Augapfel, dessen feste Wand von einer weissen Sehnenhaut gebildet wird, deren vorderen Theil wir auch am lebenden Menschen als das Weisse des Auges erblicken. Die schwarze Farbe, mit der der Kasten der Camera obscura innen ausgestrichen ist, ersetzt am Auge eine zweite, feinere, braunschwarz gefärbte Haut, die Aderhaut. Von ihr sehen wir am lebenden Auge ebenfalls nur das vordere Ende, nämlich die Iris, den blauen oder braunen Kreis, welcher die mittlere dunkelschwarze Oeffnung, die Pupille, umgiebt. Die Iris ist auf ihrer hinteren Seite tief schwarz, wie die übrige Aderhaut, auf der vorderen Seite aber, welche wir erblicken, liegen ungefärbte oder wenig gefärbte Schichten. Die blaue Farbe der Iris entsteht nicht durch einen besonderen Farbstoff, sondern hat denselben Grund, wie die blaue Farbe verdünnter Milch, sie ist weisslichen trüben Mitteln eigenthümlich, welche vor einem dunklen Grunde stehen. Die braune Farbe der Iris entsteht dagegen durch Ablagerung kleiner Mengen desselben braunschwarzen Farbstoffs in den vorderen Schichten der Iris, welcher ihre hintere Fläche bedeckt. Daher kann die Färbung auch wechseln, wenn mit der Zeit sich Farbstoff in der Iris ablagert. Schon der berühmte griechische Philosoph Aristoteles berichtet, dass alle Kinder mit blauen Augen geboren würden, auch wenn sie später braune bekämen. Sie sehen, dass in alter Zeit auch die Philosophen zu beobachten wussten.

Der schwarze Kreis in der Mitte des braunen oder blauen, die sogenannte Pupille, ist also eine Oeffnung, durch welche das Licht in den hinteren Theil des Auges eindringt. Ist die Lichtmenge zu gross, so wird die Pupille enger, ist sie sehr gering, so wird sie weiter. Vor der Pupille liegt uhrglasförmig gewölbt die durchsichtige Hornhaut, deren Oberfläche durch die über sie hinsickernde Thränenfeuchtigkeit und das Blinzen der Augenlider stets spiegelblank erhalten wird. Hinter der Pupille liegt noch ein sehr klarer, durchsichtiger, linsenförmiger Körper, die Krystalllinse, dessen Anwesenheit im lebenden Auge nur schwache Lichtreflexe verrathen. Das Innere des Auges ist übrigens mit Flüssigkeit gefüllt. Die Krystalllinse im Verein mit der gekrümmten Fläche der Hornhaut vertritt im Auge die Stelle der Glaslinse in der Camera obscura des Photographen. Sie entwerfen verkleinerte, natürlich gefärbte, aber auf dem Kopfe stehende Bilder der äusseren Gegenstände auf der Fläche der Netzhaut, welche

Digitized by Google

letztere im Hintergrunde des Auges vor der Aderhaut liegt. Um die Netzhaut des lebenden Auges zu sehen, habe ich vor einigen Jahren ein kleines optisches Instrument, den Augenspiegel, construirt, mit dem man nun auch die Netzhautbilder im Auge eines Andern direct sehen und sich von ihrer Schärfe, Stellung u. s. w. überzeugen kann.

Wir sagten vorher, der Photograph müsse sein Instrument für den Gegenstand, den er abbilden will, richtig einstellen. In der That findet man bei genauer Betrachtung der Bilder in der Camera obscura, dass, wenn ferne Gegenstände mit scharfen Umrissen abgebildet werden, nähere verwaschen erscheinen, und umgekehrt. Der Photograph muss die Linse seines Instruments der Tafel, auf der das Bild entworfen wird, etwas näher rücken, wenn er ferne Gegenstände, er muss sie etwas entfernen, wenn er nahe abbilden will. Etwas Aehnliches kommt beim Auge vor. Dass Sie nicht gleichzeitig ferne und nahe Gegenstände deutlich sehen, davon überzeugen Sie sich am leichtesten und besten, wenn Sie einen Schleier etwa sechs Zoll von den Augen entfernt halten, und das eine Auge schliessen. Sie können dann willkürlich und ohne die Richtung des Blicks zu ändern, bald durch den Schleier hin ferne Gegenstände betrachten, wobei Ihnen der Schleier nur noch als eine verwaschene Trübung des Gesichtsfeldes erscheint, Sie aber nicht die einzelnen Fäden des Schleiers erkennen, oder Sie können die Fäden des Schleiers betrachten, wobei Sie dann aber nicht mehr die Gegenstände des Hintergrundes deutlich erkennen. Man fühlt bei diesem Versuche eine gewisse Anstrengung im Auge, indem man von einem zum anderen Gesichtspunkte übergeht. In der That wird dabei die Form der Krystalllinse durch besondere, im Auge liegende Muskelapparate willkürlich geändert. Diese Veränderung, vermöge deren das Auge sich willkürlich bald für nahe, bald für ferne Gegenstände einrichten kann, nennt man die Accommodation für die Nähe oder die Ferne. Auch die Veränderungen der Bilder bei veränderter Accommodation kann man durch den Augenspiegel direct beobachten.

Ich verweile hier noch einen Augenblick dabei, was für ein Bewenden es eigentlich mit dem optischen Bilde im Auge und den optischen Bildern überhaupt habe. Lichtstrahlen, welche aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergehen, z. B. aus Luft in Glas, oder aus Luft in die Augenflüssigkeiten, werden von ihrer früheren Richtung abgelenkt, sie werden „gebrochen“,

Digitized by Google

wenn sie nicht etwa gerade senkrecht gegen die Trennungsfläche auffallen. Die Glaslinse der Camera obscura und die durchsichtigen Mittel des Auges verändern nun den Weg der Lichtstrahlen, welche von einem lichten Punkte eines abgebildeten Gegenstandes ausgegangen sind, so, dass sie alle in einem Punkte, dem entsprechenden Punkte des Bildes, sich wieder vereinigen. Liegt dieser Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen in der Fläche der Netzhaut, so wird dieser Punkt der Netzhaut von allem Lichte getroffen, welches von dem entsprechenden Punkte des Gegenstandes her in das Auge fällt, und nichts von diesem Lichte fällt auf andere Theile der Netzhaut. Ebenso wenig wird aber auch jener Punkt von Licht getroffen, welches von irgend einem anderen Punkte des Gegenstandes ausgegangen wäre. Also der betreffende Punkt der Netzhaut empfängt alles Licht, und nur das Licht, welches von dem entsprechenden Punkte des abgebildeten Gegenstandes her in das Auge gefallen ist. Sendet dieser Punkt des Gegenstandes viel Licht aus, so wird der entsprechende Punkt der Netzhaut stark beleuchtet, sendet er wenig aus, so wird der letztere dunkel sein. Sendet ersterer rothes Licht aus, so wird der letztere auch roth, wenn grünes, grün beleuchtet sein u. s. w. So entspricht also jedem Punkte der Aussenwelt ein besonderer Punkt des Bildes, der eine entsprechende Stärke der Beleuchtung und die gleiche Farbe hat, und so entspricht insbesondere im Auge beim deutlichen Sehen jeder einzelne Punkt der Netzhaut einem einzelnen Punkte des äusseren Gesichtsfeldes, so dass er nur von dem Lichte, was von diesem äusseren Punkte hergekommen ist, getroffen, und zur Empfindung angeregt wird. Da somit jeder einzelne Punkt des Gesichtsfeldes durch sein Licht nur einen einzelnen Punkt der empfindenden Nervensubstanz afficirt, kann auch für jeden äusseren Punkt gesondert zum Bewusstsein kommen, welche Menge und Farbe des Lichts ihm angehört. Es wird durch diese Einrichtung des Auges, als eines optischen Apparats, möglich, die verschiedenen hellen Gegenstände unserer Umgebung gesondert wahrzunehmen, und je vollkommener der optische Theil des Auges seinen Zweck erfüllt, desto schärfer ist die Unterscheidung der Einzelheiten des Gesichtsfeldes.

Auf diesen physikalischen Theil der Vorgänge des Sehens, den ich nur als die Grundlage für das Verständniss des Folgenden berühren musste, will ich hier nicht weiter eingehen, so mannigfache interessante Fragen und Thatsachen er auch dar-

Digitized by Google

bietet. Nur eines will ich erwähnen als Beispiel, wie unser Bild von der Aussenwelt auch durch den Bau des physikalischen Theiles unseres Auges bestimmt wird. Die Sterne erscheinen uns strahlig; „sternförmig“ ist in unserer Sprache von gleicher Bedeutung wie „strahlig“. In Wahrheit sind die Sterne von runder Gestalt, oder meist so klein, dass wir überhaupt von ihrer Gestalt nichts erkennen können, dass sie uns als untheilbare Punkte erscheinen müssten. Die Strahlen bekommt das Bild des Sternes aber weder in dem Weltenraume, noch in unserer Atmosphäre, sondern damit wird es erst in unserer Krystalllinse geschmückt, welche einen strahligen Bau hat, und die Strahlen, die wir den Sternen zuertheilen, sind also in Wahrheit Strahlen unserer Krystalllinse.

Wir sind jetzt also so weit gekommen, dass auf der Fläche der Netzhaut ein optisches Bild entworfen wird, wie es auch in jeder Camera obscura geschieht. Aber die letztere sieht dieses Bild nicht, das Auge sieht es. Worin liegt da der Unterschied? Er liegt darin, dass die Netzhaut, welche im Auge das optische Bild empfängt, ein empfindlicher Theil unseres Nervensystems ist, und dass durch die Einwirkung des Lichts, als eines äusseren Reizes, in ihr Lichtempfindung hervorgerufen wird. Was wissen wir nun über die Erregung der Lichtempfindung durch das Licht?

Die ältere und scheinbar natürlichste Ansicht war, dass die Netzhaut des Auges eine viel grössere Empfindlichkeit hätte, als irgend ein anderer Nervenapparat des Körpers, und deshalb auch die Berührung selbst eines so feinen Agens, wie das Licht, empfinde. Dass die Art des Eindrucks, den das Licht auf das Auge macht, so ganz verschieden ist von der Tonempfindung, von der Wärmeempfindung, von den Empfindungen der Haut für Hartes, Weiches, Rauhes, Glattes u. s. w. schien sich einfach dadurch zu erklären, dass das Licht eben etwas anderes sei, als der Ton, die Wärme, als ein harter oder weicher, rauher oder glatter Körper, und man fand es in der Ordnung, dass jedes Ding, je nach seinen verschiedenen Eigenschaften, auch eigenthümlich empfunden werde.

Dabei waren nun allerdings einige unbequeme Erscheinungen vorhanden, die man gern als unbedeutend bei Seite liegen liess, und nicht beachtete. Wenn man das Auge drückt oder schlägt, treten Lichterscheinungen auf, auch in der tiefsten Dunkelheit. Elektrische Ströme durch das Auge geleitet erzeugen ebenfalls

Digitized by Google

Lichterscheinungen. Ja wir brauchen so gewaltsame Mittel nicht einmal anzuwenden; wer im vollständigsten Dunkel mit geschlossenen Augen Aufmerksamkeit auf sein Gesichtsfeld wendet, bemerkt darin allerlei wunderliche krause, gesternte oder streifige, verschiedenfarbige Figuren, die fortdauernd wechseln, und ein phantastisches regelloses Spiel ausführen; sie werden heller und schöner gefärbt, wenn man das Auge reibt, oder wenn erregende Getränke oder Krankheiten das Blut zum Kopfe treiben, aber sie fehlen nie ganz. Man nennt sie den Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes.

Als man sich zuerst die Mühe nahm, diese Erscheinungen zu beachten und sie erklären zu wollen, meinte man, hier könne wohl durch innere Processe Licht im Auge erzeugt werden. Man erklärte dies durch eine geheimnissvolle Verwandtschaft des Nervenfluidum der Netzhaut mit dem Lichte, vermöge deren eine Erregung des ersteren auch letzteres erzeugen könne. Die leuchtenden Augen der Katzen und Hunde schienen den Beweis der Möglichkeit zu liefern, sie schienen selbständig Licht zu erzeugen, sie sollten besonders hell leuchten, wenn man diese Thiere zum Zorn reizte, also eine Erregung des Nervensystems hervorbrächte. Man glaubte so das in ihrem Auge entwickelte Licht selbst beobachten zu können.

Es wird Ihnen gleich aus der deutschen Volkssage ein Bekenner dieser Ansicht einfallen, der berühmteste aller deutschen Jäger, Herr v. Münchhausen, der nach Verlust des Feuersteins von seiner Flinte sich von einem Bären verfolgt sah, und mit seiner bekannten Geistesgegenwart und Genialität ein unerwartetes Auskunftsmittel traf. Er legte an, zielte, schlug sich mit der Faust in das Auge, dass es Funken sprühte: das Pulver zündete, der Bär war todt. Aber ernsthafte Verlegenheit bereitete ein gerichtlicher Fall, wo der Kläger in einer dunkeln Nacht einen Schlag in das Auge bekommen hatte, und bei dem dadurch erregten Lichtscheine die Person des Angreifers erkannt haben wollte. War die eben ausgeführte physiologische Ansicht richtig, so musste auch die Aussage dieses Mannes für glaublich gehalten werden. Die Theorie von der Lichtentwickelung im Auge wurde also vor Gericht gezogen, und wir sind deshalb so glücklich, ausser den übrigen Gründen, welche gegen sie sprechen, auch durch richterlichen Spruch ihre Verwerflichkeit bestätigt zu sehen.

Eine genauere Prüfung gab der Sache ein ganz anderes Ansehen. Erstens fand sich die vorausgesetzte grosse Empfindlich-

Digitized by Google

keit des Sehnerven gar nicht bestätigt, im Gegentheil schien dessen Verletzung so gut wie gar keinen Schmerz hervorzubringen, während die Verletzung eines anderen, ebenso starken Hautnerven des Körpers von überwältigendem Schmerze begleitet ist. In einzelnen beklagenswerthen Krankheitsfällen muss der Augapfel entfernt werden, um das Leben des Kranken zu retten. Dann hat der Operirte im Augenblicke der Durchschneidung des Sehnerven keinen Schmerz, sondern er glaubt einen Lichtblitz zu sehen.

Ferner stellten sorgfältig angestellte Untersuchungen übereinstimmend heraus, dass die sogenannten leuchtenden Thieraugen in absoluter Dunkelheit niemals leuchteten, sondern dass ihr Leuchten immer nur durch Zurückwerfung von äusserem Lichte entsteht. In der That findet sich im Hintergrunde dieser Augen statt des schwarzen Färbstoffs eine helle, schillernd gefärbte Stelle, das sogenannte Tapetum, welche im Stande ist, das eingefallene Licht lebhaft zurückzuwerfen. Ja später hat Bruecke gelehrt, wie man bei passender Beleuchtung auch die Pupille des menschlichen Auges roth erleuchtet, gleich einer glühenden Kohle, erscheinen lassen kann, und der Gebrauch des Augenspiegels beruht gerade auf dieser Thatsache. Ebenso wenig ist jemals etwas von Licht in dem Auge eines Anderen zu sehen, während dieser selbst in Folge von Druck, elektrischer Ströme oder anderer Ursachen die lebhaftesten Lichtblitze wahrnimmt. Wir können also in diesen Fällen nicht zweifeln, dass Lichtempfindung stattfindet, ohne durch wirkliches Licht angeregt zu sein. Wir wissen aber, dass die Mittel, durch welche wir im Auge Lichtempfindung erregen, Stoss, Druck, mechanische Misshandlung, elektrische Ströme, wenn sie auf irgend einen Nervenapparat wirken, immer dessen Thätigkeit erregen; wir nennen sie deshalb Reizmittel für die Nerven, und können also den allgemeinen Satz aussprechen: Die gewöhnlichen Reizmittel der Nerven erregen auf die Sehnerven wirkend Lichtempfindung, ganz wie das wirkliche Licht, und, können wir hinzusetzen, wenn wir an die Operirten denken, sie erregen im Sehnerven keine andere Empfindung als Lichtempfindung allein.

Wenn wir dieselben Reize auf andere Nerven einwirken lassen, entsteht niemals Lichtempfindung, sondern im Hörnerven werden Schallempfindungen hervorgerufen, in den Hautnerven Tastempfindungen oder Wärmegefühl, von den Muskelnerven aus gar keine Empfindungen, wohl aber Muskelzuckungen. Nur wenn sie

Digitized by Google

auf das Auge wirken, erregen alle diese Reize Lichtempfindung. Am reichsten ist das Gebiet der Empfindungen, welches strömende Elektricität im Körper hervorruft, weil man sie leicht auf die meisten Nervenapparate einwirken lassen kann, und sie diese sehr kräftig erregt. Im Auge wird der Anfang des elektrischen Stromes durch einen Lichtblitz bezeichnet, dem eine mildere Erhellung des Gesichtsfeldes folgt, je nach der Richtung des Stromes hellblau oder rothgelb. Bei der Unterbrechung des Stromes folgt wieder ein Lichtblitz. In der Zunge ruft der Strom, je nach der Richtung, sauren oder bitterlich laugenhaften Geschmack hervor, in der Haut Brennen und Fressen, im Innern der Glieder Zuckungen u. s. w.

Wie schade ist es, werden Sie vielleicht denken, dass die übrigen Nervenapparate unseres Körpers gegen das Licht unempfindlich sind. Es würde doch interessant sein, zu erfahren, welche Empfindungen das Licht anderswo erregte? In unserem gewöhnlichen Vorstellungskreise können wir nicht anders glauben, als dass wir das Licht eben nur mit dem Auge, und nicht mit der Hand empfinden können. Aber wir wollen uns bedenken. Soviel wird Ihnen schon wahrscheinlich geworden sein, dass das Licht, wenn es von der Hand empfunden werden könnte, in ihr nicht dieselbe Art von Empfindung hervorrufen wird, wie im Auge. Nun lassen Sie doch einmal Sonnenstrahlen auf die Hand fallen. Werden Sie sie nicht fühlen? „Ja wohl", werden Sie antworten, „ich fühle es wohl; aber das ist Sonnenwärme, nicht Licht, welches ich fühle; die Wärme ist immer mit dem Lichte verbunden." Gut, ich verdenke es Ihnen nicht, wenn Sie so antworten, denn die überwiegende Mehrzahl der Physiker hat bis auf die letzten zwanzig Jahre auch so geantwortet. Wenn aber die Wärme *immer* das Licht begleitet, so ist doch die Frage aufzuwerfen, ob Wärme und Licht nicht etwa nur die verschiedenen Aeusserungen eines und desselben Princips seien. Die Physik hat nun die Frage einer sorgfältigen Prüfung unterzogen, und ist bis jetzt zu der Ansicht darüber gekommen, dass bei einfachem, einfarbigem Lichte, wie wir es mittelst durchsichtiger Prismen aus dem Sonnenlichte ausscheiden können, das Erwärmungsvermögen mit dem Erleuchtungsvermögen unzertrennlich verbunden ist, dass wenn eines von beiden abnimmt, das andere in demselben Verhältnisse vermindert wird, wie es eben sein muss, wenn Wärme und Licht nur die Wirkungen desselben Agens sind. Bei Licht verschiedener Art, d. h. verschiedener

Digitized by Google

Farbe, sind Erwärmungsvermögen und Erleuchtungsvermögen in sehr verschiedenem Grade verbunden. Gelbes Licht wärmt bei gleicher Helligkeit stärker als blaues, rothes mehr als gelbes. An die rothen Strahlen endlich schliessen sich im Sonnenspectrum Strahlungen an, welche zwar wärmen, aber gar nicht leuchten, die dunklen Wärmestrahlen. Sie sind in allen rein physikalischen Beziehungen den leuchtenden Strahlen ähnlich, nur in ihrer Wirkung auf das menschliche Auge unterscheiden sie sich von ihnen. Eben solche dunkle Wärme strahlen heisse Oefen aus, zu der, wenn die Temperatur bis zur Rothgluth steigt, sich auch leuchtende Wärmestrahlen gesellen können.

Somit bliebe als Unterschied zwischen Wärme und Licht nichts weiter übrig, als die verschiedene Empfindung, welche sie erregen, je nachdem sie die Haut oder das Auge treffen; dort erregen sie das Gefühl von Wärme, hier das von Licht. Dürfen wir nun aus diesen verschiedenen Wirkungen schliessen, dass sie zwei verschiedenen physikalischen Agentien entsprechen? Wohl kaum, wenn wir das erwägen, was ich von den verschiedenen Wirkungen des elektrischen Stromes und der mechanischen Reizung auf verschiedene Nerven gesagt habe. Die Strahlung der leuchtenden und heissen Körper, — die Physik hält sie für eine schwingende Bewegung eines überall verbreiteten elastischen Stoffes, des Lichtäthers, — die Aetherschwingungen also, sind ebenfalls in die Reihe der Reizmittel unserer Nerven einzuschliessen, und sie, wie alle anderen Reize, bringen verschiedene Eindrücke hervor, wenn sie auf verschiedene Nerven einwirken, und zwar jedes Mal Eindrücke, welche dem besonderen Kreise von Empfindungen des besonderen Nervenapparats angehören.

So kommen wir zu der von Johannes Müller, dem Berliner Physiologen, aufgestellten Lehre von den specifischen Sinnesenergien, dem bedeutsamsten Fortschritte, den die Physiologie der Sinnesorgane in neuerer Zeit gemacht hat. Die Qualität unserer Empfindungen, ob sie Licht oder Wärme, oder Ton, oder Geschmack u. s. w. sei, hängt nicht ab von dem wahrgenommenen äusseren Objecte, sondern von dem Sinnesnerven, welcher die Empfindung vermittelt. Lieben Sie paradoxe Ausdrücke, so können Sie sagen: Licht wird erst Licht, wenn es ein sehendes Auge trifft, ohne das ist es nur Aetherschwingung.

Aehnlich verhält es sich mit den Modificationen der Licht-

Digitized by Google

empfindung, den Farben. Aetherschwingungen von verschiedener Schwingungsgeschwindigkeit erregen Empfindungen verschiedener Farben, die schnelleren die des Violett, die langsameren in der Ordnung, wie ihre Dauer zunimmt, die Empfindung des Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth. Wenn Licht von verschiedener Farbe gemischt wird, erregt es den Eindruck einer neuen Farbe, einer Mischfarbe, welche stets weisslicher und weniger gesättigt ist, als die einfachen Farben, aus denen sie zusammengesetzt wurde. Mischfarben von ganz gleichem Aussehen können aber auf die verschiedenste Weise zusammengesetzt sein, und ihre Aehnlichkeit besteht dann eben nur für das Auge, durchaus nicht in irgend einer anderen physikalischen Beziehung.

Dass die Art unserer Wahrnehmungen ebenso sehr durch die Natur unserer Sinne, wie durch die äusseren Dinge bedingt sei, wird durch die angeführten Thatsachen sehr augenscheinlich an das Licht gestellt, und ist für die Theorie unseres Erkenntnissvermögens von der höchsten Wichtigkeit. Gerade dasselbe, was in neuerer Zeit die Physiologie der Sinne auf dem Wege der Erfahrung nachgewiesen hat, suchte Kant schon früher für die Vorstellungen des menschlichen Geistes überhaupt zu thun, indem er den Antheil darlegte, welchen die besonderen eingeborenen Gesetze des Geistes, gleichsam die Organisation des Geistes, an unseren Vorstellungen haben. Die neuere Philosophie dagegen, ausgehend von der Annahme der Identität der Natur und des Geistes, suchte diese Gesetze des Geistes auch zu Gesetzen der Wirklichkeit zu machen, und musste demgemäss auch versuchen die Gleichheit unserer Sinnesempfindungen mit den wirklichen Eigenschaften der wahrgenommenen Körper nachzuweisen. Zu dem Ende warf sie sich namentlich zur Vertheidigerin von Goethe's Farbenlehre auf. Dass der Streit über diese Lehre wesentlich diesen Sinn hat, habe ich bei einer anderen Gelegenheit [1]) darzulegen gesucht.

So entsteht also durch das äussere Licht die Lichtempfindung, welche durch die Fasern des Sehnerven dem Gehirne zugeleitet wird, und hier zum Bewusstsein gelangt. Aber Lichtempfindung ist immer noch kein Sehen. Zum Sehen wird die Lichtempfindung erst, insofern wir durch sie zur Kenntniss der Gegenstände der Aussenwelt gelangen; das Sehen besteht also erst im Ver-

---

[1]) Siehe meinen Vortrag über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten, S. 1 dieses Bandes.

Digitized by Google

ständniss der Lichtempfindung. Die vornehmste Thatsache, welche uns in diesem psychologischen Gebiete unserer Untersuchung entgegentritt, ist die: Jede Lichtempfindung veranlasst die Vorstellung von etwas Hellem vor uns im Gesichtsfelde. Das scheint sehr einfach und natürlich zu sein, da ja doch Lichtempfindung immer von Licht angeregt wird. Immer? Das ist nicht genau gesprochen. Ich habe vorher schon angeführt, dass auch durch andere Reize, welche den Sehnerven und die Netzhaut treffen, Lichtempfindung erregt wird. Auch in diesen Fällen entsteht in uns die Vorstellung, dass dieses Licht aus dem vor uns liegenden Raume komme. Lassen wir bei offenen Augen einen elektrischen Strom von der Stirn zum Nacken gehen, der dabei auch den Sehnerven reizt, so glauben wir einen Lichtblitz zu sehen, welcher die vor uns liegenden Körper erhellt, obgleich der elektrische Strom in diesem Falle gar kein objectives Licht, keine Aetherschwingungen, weder im Auge noch in der Aussenwelt, erzeugt. In diesem Falle wird die Sinnesempfindung zur Sinnestäuschung. Das Sinnesorgan täuscht uns dabei nicht, es wirkt in keiner Weise regelwidrig, sondern im Gegentheile wirkt es nach seinen festen, unabänderlichen Gesetzen, und kann gar nicht anders wirken. Aber wir täuschen uns im Verständniss der Sinnesempfindung.

Ferner ruft Reizung einer bestimmten Stelle der Netzhaut die Vorstellung eines leuchtenden Körpers an einer bestimmten Stelle des vor uns liegenden Raumes hervor. Ich habe Ihnen vorher aus einander gesetzt, dass Licht, welches von einem bestimmten Punkte des Gesichtsfeldes ausgeht, beim deutlichen Sehen nur einen Punkt unserer Netzhaut trifft, deshalb verlegen wir den Ursprung aller Lichtempfindung, welche in einem solchen Punkte der Netzhaut entsteht, stets in die correspondirende Stelle des äusseren Gesichtsfeldes. Drücken Sie mit dem Nagel am äusseren Augenwinkel; es entsteht ein kleiner Lichtschein. Sie werden ihn vielleicht zuerst gar nicht bemerken, weil Sie ihn da suchen möchten, wo Sie drücken. Weit gefehlt! Gerade an der entgegengesetzten Seite des Gesichtsfeldes, in der Nähe des Nasenrückens erscheint er, als ein kleiner heller Kreis. Sie drücken unter dem Augenbrauenrande der Augenhöhle auf das Auge, und der Lichtschein erscheint in der Gegend des unteren Augenlides; kurz, an welcher Seite des Auges Sie auch drücken mögen, der Lichtschein erscheint Ihnen immer an der entgegengesetzten.

Digitized by Google

Die Erklärung der Erscheinung ist schon aus dem Vorhergesagten klar. Kehren wir zurück zu dem Falle, wo wir am äusseren Augenwinkel drücken, und der Lichtschein am Nasenrücken erscheint. Es werden hier dieselben Punkte der Netzhaut durch den Druck gereizt, welche Licht vom Nasenrücken her zu bekommen pflegen, denn das Bild auf der Netzhaut ist umgekehrt, und das Bild des Nasenrückens wird auf der äusseren Seite der Netzhaut entworfen. Wenn wir uns also einmal verleiten lassen, von der Reizung der Netzhaut durch den Druck des Fingernagels auf das Vorhandensein von Licht zu schliessen, so ist es auch nur folgerichtig, wenn wir dies Licht von derselben Stelle des Raumes herkommen lassen, von welcher das wirkliche Licht herkommt, wenn es die betreffende Stelle der Netzhaut trifft. In der Erfahrung unseres ganzen Lebens haben wir aber den Ursprung des Lichtes, welches die äussersten Theile der Netzhaut trifft, am Nasenrücken gesucht und gefunden, und unsere Vorstellung verlegt also frisch weg auch das scheinbare Licht des Druckes an dieselbe Stelle. Dass unsere Vorstellung so verfährt, werden wir natürlich und begreiflich finden, aber auf einen auffallenden Umstand will ich hier gleich aufmerksam machen, der wohl geeignet ist, Ueberraschung zu erregen.

Wir haben nämlich unsere Vorstellung auf einem Fehlschlusse ertappt, wir haben auch wissenschaftlich eingesehen, wie sie dazu gekommen ist, und wie die Sache sich eigentlich in Wahrheit verhält; wir wissen, unsere Vorstellung hat eine Schlussfolgerung, welche sich millionen Male als richtig erwies, unrichtiger Weise auf einen Fall angewendet, auf den sie nicht passt. Nun sollte unsere Vorstellung doch billiger Weise ein Einsehen haben, und uns nicht mehr das falsche Bild eines Lichtscheins auf dem Nasenrücken vorspiegeln wollen, sondern den Lichtschein dahin verlegen, wo die Lichtempfindung erregt ist. Wir wiederholen den Versuch nun mit der wissenschaftlich gesicherten Ueberzeugung, die Lichtempfindung finde am äusseren Augenwinkel statt. Hat sich unsere Vorstellung belehren lassen? Wir werden gestehen müssen, nein. Sie beträgt sich wie der ungelehrigste aller Schüler, sie lässt die arme Lehrerin Wissenschaft reden, so lange und viel sie auch wolle, und bleibt hartnäckig bei ihrer Aussage stehen, der Lichtschein sitze doch auf dem Nasenrücken.

So ist es auch bei allen anderen Sinnestäuschungen, von welchen ich noch zu reden haben werde. Sie verschwinden nie-

Digitized by Google

mals dadurch, dass wir ihren Mechanismus einsehen, sondern bleiben in ungestörter Kraft bestehen.

Eine andere Reihe von Täuschungen über den Ort des gesehenen Gegenstandes entsteht, wenn das Licht nicht ungestört von dem Gegenstande zum Auge gelangen konnte, sondern auf spiegelnde oder lichtbrechende Körper gestossen ist. Der bekannteste Fall dieser Art ist die Spiegelung an den gewöhnlichen ebenen Spiegeln. Das Licht, welches auf einen Spiegel fällt, wird von diesem so zurückgeworfen, als käme es von Gegenständen her, die ebenso weit hinter der Spiegelebene liegen, wie die wirklich vorhandenen Gegenstände vor ihr. Fällt das gespiegelte Bild in das Auge, so wird es in diesem natürlich ebenso gebrochen, und trifft eben dieselben Netzhautpunkte, wie es Licht thun würde, welches von wirklichen Körpern ausgegangen wäre, die an dem scheinbaren Orte der optischen Bilder des Spiegels sich befänden. Unsere sinnliche Vorstellung construirt sich also auch sogleich die den Spiegelbildern entsprechenden wirklichen Körper, und legt ihnen denselben Grad von Bestimmtheit und Evidenz bei, wie den direct gesehenen Körpern, und auch hier erhält sich die scheinbare Lebhaftigkeit und die scheinbare räumliche Lage des Bildes, trotzdem dass unser Verstand von seiner Nicht-Existenz überzeugt ist.

Aehnlich verhält es sich mit den Fernröhren und Mikroskopen. In ihren Gläsern wird das Licht so gebrochen, dass es, wenn es das Instrument verlassen hat, so weiter geht, als käme es von einem vergrösserten Gegenstande her, und der, welcher durch das Instrument sieht, glaubt nun wirklich diesen vergrösserten Gegenstand zu sehen.

Nach der Stelle unserer Netzhaut, in welcher Lichtempfindung angeregt wird, beurtheilen wir also, in welcher Richtung die verschiedenen hellen Gegenstände, die uns umgeben, sich befinden, in welche Theile des Gesichtsfeldes wir sie zu setzen haben. Wir hätten dadurch ein perspectivisches Bild der Aussenwelt erhalten, wie auch das optische Bild auf unserer Netzhaut ein solches perspectivisches Bild ist. Ein richtiges perspectivisches Bild von Gegenständen, die eine regelmässige uns wohl bekannte Form haben, lässt uns allerdings auch ein ziemlich gutes Urtheil über die Tiefendimensionen der dargestellten Gegenstände fassen, namentlich wenn noch eine richtige Beleuchtung und Schattengebung hinzukommt. Deshalb genügen gute perspectivische Zeichnungen von Maschinentheilen, dem Aeusseren und Inneren von

Digitized by Google

Gebäuden u. s. w., weil wir wissen, dass die Zeichnung Gegenstände von regelmässiger kugeliger, cylindrischer oder prismatischer Grundgestalt darstellen soll. Bei unregelmässig gebildeten Gegenständen geben die perspectivischen Zeichnungen dagegen nur sehr unvollkommene Anschauung der Tiefendimension. In der Landschaftsmalerei hilft noch die sogenannte Luftperspective, d. h. die Veränderung des Farbentons und der Klarheit der Umrisse, welche durch die zwischengelegenen Luftschichten verursacht wird. Wodurch unterscheidet sich nun eine perspectivische Zeichnung von der directen Ansicht des Gegenstandes selbst, welche uns unsere Augen liefern, und warum erkennen wir beim directen Sehen die körperlichen Verhältnisse so sehr viel besser und sicherer?

Die Antwort liefert uns ein optisches Instrument, welches in den letzten Jahren ein ziemlich verbreiteter Gegenstand der Unterhaltung für das Publicum geworden ist, das von dem englischen Physiker Wheatstone erfundene Stereoskop nämlich. Dieses Instrument giebt perspectivischen Zeichnungen die vollste Lebendigkeit der Tiefenanschauung, selbst solchen Zeichnungen, an denen man bei der directen Betrachtung durchaus nicht entscheiden kann, welche Theile vorn, welche hinten liegen sollen, und um wie viel der eine Theil hinter dem anderen liegt.

Die Principien des Stereoskops sind einfach folgende. Wenn wir irgend einen Gegenstand, eine Landschaft, ein Zimmer oder dergleichen betrachten, dessen verschiedene Theile in verschiedener Entfernung liegen, so gewinnen wir von verschiedenen Standpunkten verschiedene Ansichten. Diejenigen Gegenstände des Vordergrundes, welche, von dem ersten Standpunkte gesehen, irgend eine bestimmte Stelle des Hintergrundes bedeckten, decken vom zweiten Standpunkte aus andere Stellen. Flächen, die vom ersten Standpunkte stark verkürzt erschienen, erscheinen es vom zweiten weniger, und umgekehrt. Wenn wir also von zwei verschiedenen Standpunkten aus perspectivische Ansichten desselben körperlich ausgedehnten Gegenstandes aufnehmen, so sehen diese Ansichten nicht gleich aus, sondern unterscheiden sich um so mehr, je verschiedener die Standpunkte sind. Wenn wir aber die allervollkommenste perspectivische Zeichnung desselben Gegenstandes betrachten, so wird diese ihr Ansehen nicht wesentlich verändern, wenn wir sie nach einander von verschiedenen Standpunkten betrachten. Die Gegenstände des Vordergrundes der Zeichnung decken immer genau dieselben Stellen ihres Hinter-

Digitized by Google

grundes, die Flächen, welche einmal verkürzt erscheinen, thun es immer.

Nun hat aber der Mensch zwei Augen, welche fortdauernd die Welt von zwei verschiedenen Standpunkten aus betrachten, welche also auch fortdauernd zwei verschiedene perspectivische Ansichten dem Bewusstsein zur Begutachtung darbieten, so oft sie einen körperlich ausgedehnten Gegenstand betrachten. Betrachten sie dagegen beide eine perspectivische Zeichnung des Gegenstandes, die auf einer ebenen Fläche ausgeführt ist, so erhalten beide Augen dasselbe perspectivische Bild. Dadurch werden wir in den Stand gesetzt, den wirklichen Gegenstand von seiner Abbildung zu unterscheiden, letztere mag so getreu und vollkommen sein, als es nur denkbar ist.

Wenn wir aber nun zwei perspectivische Zeichnungen desselben Gegenstandes anfertigen, welche den Ansichten des rechten und linken Auges entsprechen, dann jedem Auge die betreffende Zeichnung in einer richtigen Lage zeigen, so hört der wesentliche Unterschied zwischen der Ansicht des Gegenstandes und seiner Abbildung auf, und wir glauben nun statt der Zeichnungen in der That die Gegenstände zu sehen.

Dies leistet das Stereoskop. Zu seinen Darstellungen gehören also immer je zwei Zeichnungen desselben Gegenstandes, welche von zwei verschiedenen Standpunkten aus aufgenommen sind. Der optische Theil des Instruments, der äusserst verschieden eingerichtet sein kann, leistet weiter nichts, als dass er die beiden verschiedenen Zeichnungen scheinbar an denselben Ort verlegt. Ja, Jemand der im Schielen geübt ist, braucht gar keine optischen Hilfsmittel. Wenn man einfach die beiden Zeichnungen neben einander legt, und zu schielen anfängt, bis von den dabei entstehenden doppelten Bildern die beiden mittleren sich decken, tritt die stereoskopische Täuschung ein.

Am lehrreichsten sind stereoskopische Darstellungen von körperlichen Figuren, welche aus einfachen Linien und Punkten zusammengesetzt sind, weil hier alle anderen Hilfsmittel für die Beurtheilung der Tiefendimension fehlen, und daher die Täuschung selbst und ihr Grund am augenscheinlichsten hervortritt. Am wunderbarsten aber, wegen der ausserordentlichen Lebhaftigkeit der Täuschung, sind die von Moser[1]) zuerst ersonnenen und ausgeführten stereoskopischen Darstellungen von Landschaften,

[1]) S. Dove, Repertorium der Physik. Bd. V. S. 384. Jahrg. 1844.

Digitized by Google

Statuen und menschlichen Figuren, welche mittelst der Photographie gewonnen werden.

So construiren wir uns also die Raumverhältnisse der uns umgebenden Gegenstände fortdauernd aus zwei verschiedenen perspectivischen Ansichten, welche uns unsere beiden Augen von ihnen liefern. Der Einäugige entbehrt dieses Vortheils: so lange er sich nicht von der Stelle bewegt, erkennt er seine Umgebung nur so weit richtig, als man es aus einem vollkommen getreuen Gemälde kann. Nur wenn er sich fortbewegt, lernt er die Ansichten verschiedener Standpunkte kennen, und die Raumverhältnisse sicher beurtheilen. Man kann also sagen, so lange er still sitzt, sieht er nicht die Welt, sondern nur ein perspectivisches Gemälde der Welt. Er kann deshalb auch vom Stereoskop keinen Vortheil ziehen, weil die Täuschung beim Gebrauche dieses Instruments auf dem gleichzeitigen Gebrauche beider Augen beruht.

So erklärt sich auch die Schwierigkeit eines von der Jugend zuweilen geübten Spiels. Man hängt einen Ring an einem Faden auf. Einer der Spielenden setzt sich so, dass er den Ring von der schmalen Seite sieht, und hat die Aufgabe, während er ein Auge schliesst, ein Stäbchen durch den Ring zu schieben. Gewöhnlich gelingt es ihm, zum Gelächter der Anderen, erst nach vielen vergeblichen Bemühungen, während die Aufgabe mit zwei offenen Augen ganz leicht zu lösen ist.

Von den Momenten, welche wir zur Beurtheilung der Raumverhältnisse gebrauchen, ist schliesslich noch eines zu erwähnen. Wir beurtheilen die Richtung, aus der das Licht herkommt, nach der Stelle der Netzhaut, welche es trifft. Aber die Stelle des Bildes auf der Netzhaut ändert sich, wenn das Auge bewegt wird. Es muss also auch noch die Stellung des Auges im Kopfe bekannt sein, wenn wir richtig auf die Raumverhältnisse schliessen sollen. Jede Bewegung des Auges, die nicht in Folge unseres Willenseinflusses entsteht, oder nicht so ausgeführt wird, wie wir es durch unseren Willen beabsichtigt haben, stört daher unser Urtheil über die Stellung der uns umgebenden Gegenstände. Schliesst man ein Auge, und drückt oder zerrt am anderen, so treten sogleich scheinbare Bewegungen der gesehenen Gegenstände ein. Durch den äusseren mechanischen Einfluss wird hier das Auge verschoben, ohne dass wir genau beurtheilen können, in welcher Richtung und wie weit dies geschieht; die optischen Bilder verschieben sich dabei auf der Netzhaut, und wir schliessen

Digitized by Google

daraus auf eine Bewegung der Gegenstände. Haben wir bei diesem Versuche beide Augen geöffnet, so erblickt das unbewegte Auge den Gegenstand fest und unverrückt, während das gedrückte oder gezerrte Auge ein zweites bewegliches Bild desselben daneben sieht. Dahin gehören auch die Scheinbewegungen, welche beim Schwindel eintreten. Sie erklären sich grössten Theils aus einer falschen Beurtheilung der Wirkung der Muskeln, welche das Auge bewegen. Daher z. B. ein Fieberkranker, dem die Gegenstände zu tanzen scheinen, wenn er die Augen bewegt, weil er die Wirkung seiner Augenmuskeln auf die Stellung des Auges falsch beurtheilt, Erleichterung findet, sobald er sie fest auf einen Punkt geheftet hält, wobei der Grund dieser Scheinbewegungen fortfällt. Jemand, der sich schnell im Kreise gedreht hat, sieht, wenn er wieder still steht, die Gegenstände seiner Umgebung in entgegengesetzter Richtung eine Scheinbewegung ausführen. Jemand, der in einem Eisenbahnzuge sitzend, längere Zeit die Gegenstände, an denen er vorüberfährt, betrachtet hat, und nun in den Wagen hineinblickt, glaubt die Gegenstände im Coupé in der entgegengesetzten Richtung bewegt zu sehen. Jemand, der einige Zeit auf der See gefahren ist, glaubt nachher am Lande ähnliche Bewegungen des Zimmers zu sehen, wie sie in der Cajüte des Schiffes stattfanden. In diesen Fällen hat sich eine falsche Gewöhnung des Urtheils ausgebildet. Während die wirkliche Bewegung stattfand, musste der Beobachter, wenn er einen Gegenstand fixiren wollte, seine Augen selbst entsprechend mitbewegen. So entsteht nun eine neue Art von Einübung bei ihm, die ihn lehrt, welchen Grad von Spannung er den Augenmuskeln geben muss, um einen Gegenstand zu fixiren. Wenn die wirkliche Bewegung aufhört, will er in derselben Weise fortfahren, die Gegenstände zu fixiren. Jetzt aber tritt bei derselben Spannung der Muskeln eine Verschiebung des Netzhautbildes ein, da die Gegenstände sich nicht mehr in entsprechender Weise mit den Augen bewegen, und der Beobachter urtheilt deshalb, dass die stillstehenden Gegenstände sich bewegten, bis er sich wieder auf die Fixation feststehender Gegenstände eingeübt hat. Es ist diese Art der Scheinbewegungen namentlich interessant, weil sie lehrt, wie schnell eine veränderte Einübung in der Deutung der Sinneswahrnehmungen eintreten kann.

Wie wenig wir überhaupt bei dem täglichen praktischen Gebrauche unserer Sinnesorgane geneigt sind, an die Rolle zu denken, welche sie dabei spielen, wie ausschliesslich uns eben

Digitized by Google

nur das von ihren Wahrnehmungen interessirt, was uns über Verhältnisse der Aussenwelt Nachricht verschafft, und wie wenig wir solche Wahrnehmungen berücksichtigen, welche dazu nicht geeignet sind, dafür noch einige Beispiele. Wenn wir einen Gegenstand genau betrachten wollen, so richten wir die Augen so auf ihn, dass wir ihn deutlich und einfach sehen. Wenn wir dann ein Auge durch einen Druck mit dem Finger seitlich verschieben, entstehen, wie ich schon erwähnte, Doppelbilder des Gegenstandes, weil wir nun nicht mehr die Bilder beider Augen in dieselbe Stelle des Gesichtsfeldes verlegen. Aber während wir den einen Gegenstand fixiren, passt die Stellung unserer Augen nicht mehr für alle Gegenstände, welche näher oder ferner liegen, als der fixirte, und alle diese Gegenstände erscheinen uns doppelt. Man halte einen Finger nahe vor das Gesicht, und sehe nach dem Finger; achtet man nun gleichzeitig auf die Gegenstände des Hintergrundes, so erscheinen diese doppelt, und sieht man nach einem Punkte des Hintergrundes, so erscheint der Finger doppelt. Wir können also nicht zweifeln, dass wir fortdauernd den grösseren Theil der Gegenstände des Gesichtsfeldes doppelt sehen, und doch merken wir das gar nicht so leicht, vielleicht giebt es viele Personen, die es durch ihr ganzes Leben nicht gemerkt haben, und auch, wenn wir es schon wissen, gehört immer noch ein besonderer Act von Aufmerksamkeit dazu, um die Doppelbilder wahrzunehmen, während wir bei dem gewöhnlichen praktischen Gebrauche der Augen von ihnen mit der grössten Beharrlichkeit abstrahiren.

Ferner, würden Sie wohl glauben, dass in jedem menschlichen Auge ganz nahe der Mitte des Gesichtsfeldes sich eine Stelle befindet, welche gar nichts sieht, sondern vollständig blind ist, nämlich die Eintrittsstelle des Sehnerven? Und das sollten wir unser ganzes Leben lang nicht bemerkt haben? wie ist das möglich? Es ist ebenso gut möglich, als dass Jemand Monate, Jahre lang auf einem ganzen Auge blind sein kann, und es erst bei einer zufälligen Erkrankung des anderen Auges bemerkt. So auch mit dem normalen blinden Flecke des Auges. Die blinden Flecke beider Augen fallen nicht auf denselben Theil des Gesichtsfeldes. Wo also das eine Auge nichts sehen kann, sieht das andere, und auch wenn wir ein Auge schliessen, bemerken wir nicht so leicht den blinden Fleck, weil wir gewöhnlich, um etwas genau zu sehen, nur eine einzige, durch einen besonderen Bau ausgezeichnete Stelle der Netzhaut, die Stelle des directen Sehens,

Digitized by Google

anwenden, und die Eindrücke, welche von den übrigen Theilen des Gesichtsfeldes kommen, gleichsam nur eine flüchtige Skizze von der Umgebung des betrachteten Gegenstandes geben. Und da wir meistens den Blick auf den verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes umherschweifen lassen, und die Gegenstände, welche uns interessiren, dabei nach einander fixiren, so werden wir, trotz des blinden Flecks, bei diesen Bewegungen mit allen Theilen des Gesichtsfeldes bekannt, und durch seine Anwesenheit nicht gehindert, alles das wahrzunehmen, an dessen Wahrnehmung uns etwas liegt.

Um sich von dem Vorhandensein eines solchen Fleckes zu überzeugen, muss man schon methodische Beobachtungen anstellen. Wenn man das linke Auge schliesst, ein Papierblatt in der Entfernung von 7 Zoll vor das rechte Auge hält, und irgend einen bezeichneten Punkt der Papierfläche fixirt, so entspricht der blinde Fleck der Stelle des Papiers, welche 2 Zoll nach rechts von dem Gesichtspunkte liegt. Befindet sich hier ein schwarzer Fleck, oder irgend ein kleiner Gegenstand, so sieht man diesen nicht, sondern die weisse Fläche des Papiers erscheint ununterbrochen [1].

Die Grösse des blinden Flecks ist hinreichend, um uns am Himmel eine Scheibe, welche einen 12mal grösseren Durchmesser hätte als der Mond, zu verdecken. Ein menschliches Gesicht kann er verdecken, wenn sich dieses in 6 Fuss Entfernung befindet. Sie sehen, dass seine Grösse verhältnissmässig gar nicht unbedeutend ist.

Diese Thatsachen bestätigen, was ich vorher aussprach, dass wir von unseren Sinneswahrnehmungen beim unbefangenen Gebrauche der Sinne nur das berücksichtigen, was uns Aufschluss über die Aussenwelt giebt. Aber neuere Untersuchungen über den blinden Fleck geben uns ausserdem noch interessante Aufschlüsse über die Rolle, welche psychische Processe schon bei

[1] Der Leser wird den Versuch an der beistehenden Figur leicht ausführen können.

+ 

Er schliesse das linke Auge, blicke mit dem rechten nach dem Kreuzchen und entferne das Papierblatt etwa 7 Zoll vom Auge, so wird ihm die schwarze Kreisfläche verschwinden. Nähert er das Papier dem Auge oder entfernt er es mehr, so kommt sie wieder zum Vorschein. Man achte aber ja darauf, stets das Kreuzchen zu fixiren.

Digitized by Google

den einfachsten Sinneswahrnehmungen spielen. Bringen wir in die dem blinden Flecke entsprechende Stelle des Gesichtsfeldes irgend einen kleinen Gegenstand, welcher kleiner ist als der blinde Fleck, so sehen wir diesen überhaupt nicht, sondern füllen die Lücke mit der Farbe des Grundes aus, wie das namentlich in dem beschriebenen Versuche mit dem schwarzen Flecke auf weissem Papiere geschieht. Fällt der blinde Fleck auf einen Theil irgend einer Figur, so ergänzen wir die Figur, und zwar so, wie es den am häufigsten uns vorkommenden Figuren ähnlicher Art entspricht. Fällt der blinde Fleck z. B. auf einen Theil einer schwarzen Linie auf weissem Grunde, so setzt die Einbildungskraft die Linie auf dem kürzesten Wege durch den blinden Fleck hin fort, auch dann, wenn in Wahrheit an der Stelle die wirkliche Linie eine Lücke oder Ausbiegung haben sollte.

Fällt der blinde Fleck auf die Mitte eines Kreuzes, so ergänzt die Einbildungskraft die mittlere Parthie, und wir glauben ein Kreuz zu sehen, selbst in dem Falle, wo in Wahrheit die vier Schenkel in der Mitte gar keine Verbindung haben sollten, u. s. w.

Sind verschiedene Auslegungen gleich geläufig, so schwankt die Vorstellung oft zwischen der einen und anderen, sie kann aber nicht durch den Willen gezwungen werden, die eine oder die andere zu wählen.

Sind beide Augen geöffnet, so entscheiden wir im Allgemeinen nach den Wahrnehmungen des sehenden Auges. Halte ich ein Papier mit einem rothen Flecke so vor mich hin, dass der rothe Fleck vom rechten Auge nicht gesehen wird, so wird er doch vom linken gesehen, und ich glaube deshalb, ein Papier mit einem rothen Flecke wahrzunehmen, was auch der Wirklichkeit entspricht. In anderen Fällen entscheiden wir aber nicht unbedingt nach den Wahrnehmungen des sehenden Auges. Wenn ich nun ein ganz weisses Papier nehme, und vor das linke Auge ein rothes Glas halte, so erscheint das ganze Papier gleichmässig röthlich-weiss, ohne dass die dem blinden Flecke des rechten Auges entsprechende Stelle sich durch ein besonderes Ansehen auszeichnete. Und doch sind die unmittelbaren Empfindungen, welche sich auf diese Stelle beziehen, jetzt in beiden Augen genau dieselben wie vorher, wo das Papier mit dem rothen Flecke betrachtet wurde, nämlich das rechte Auge sieht hier gar nichts, das linke reines Roth. Trotzdem erscheint diese Stelle nicht

Digitized by Google

rein roth, sondern, wie das ganze übrige Papier, weiss mit einem schwachen röthlichen Scheine. Der Unterschied liegt nur darin, dass jetzt dem linken Auge nicht bloss die eine Stelle, sondern die ganze Papierfläche rein roth erscheint. Die dem blinden Flecke des rechten Auges entsprechende Stelle zeichnet sich im linken nicht durch ihre Farbe vor dem anderen Papiere aus, und das Urtheil findet deshalb keinen Grund, jener Stelle eine besondere Beschaffenheit beizulegen. Hier finden wir also einmal einen Fall, wo die Einbildungskraft sich durch das Urtheil bestimmen lässt, trotz der gleichen Sinneseindrücke, verschiedene und richtige Deutungen der Sinneseindrücke zu geben.

Das Feld der sogenannten Gesichtstäuschungen ist noch ungemein reich. Die angeführten werden aber genügen, Ihnen eine Anschauung von den Eigenthümlichkeiten der Wahrnehmungen des Auges, und unserer Sinne überhaupt zu geben.

Ich habe bisher immer davon gesprochen, dass die Vorstellung in uns urtheilt, schliesst, überlegt u. s. w., wobei ich mich wohl gehütet habe zu sagen, dass wir urtheilen, schliessen, überlegen, denn ich habe schon anerkannt, dass diese Acte ohne unser Wissen vor sich gehen, und auch nicht durch unseren Willen und unsere bessere Ueberzeugung abgeändert werden können. Dürfen wir denn nun, was hier geschieht, wirklich als Processe des Denkens bezeichnen, ein Denken ohne Selbstbewusstsein, und nicht unterworfen der Controlle der selbstbewussten Intelligenz? Dazu kommt, dass die Genauigkeit und Sicherheit in der Construction unserer Gesichtsbilder so gross, so augenblicklich und unzweifelhaft ist, wie wir sie unseren Schlussfolgerungen zuzutrauen eigentlich nicht recht geneigt sind. Denn so sehr wir uns auch zuweilen mit der Macht unseres Verstandes brüsten, so belegen wir doch zu oft im gemeinen Leben und in den nicht mathematischen Wissenschaften das mit dem Namen eines Schlusses, was eigentlich nur ein Errathen oder eine wahrscheinliche Annahme ist, als dass wir nicht immer noch geheime Zweifel gegen die Zuverlässigkeit solcher Schlussfolgerungen hegen, die nicht auf Erfahrung gestützt sind. Und was die Schnelligkeit der Schlussfolgerungen betrifft, so sind diese auch da, wo wir absolute Zuverlässigkeit erreichen können, wie in den mathematischen Folgerungen und Rechnungen, so schwerfällig, umständlich und langsam, dass sie mit den blitzschnellen Auffassungen unseres Auges nicht im Entferntesten verglichen werden können.

Digitized by Google

Die Natur der psychischen Processe zu bestimmen, welche die Lichtempfindung in eine Wahrnehmung der Aussenwelt verwandeln, ist eine schwere Aufgabe, und leider finden wir bei den Psychologen keine Hülfe, weil für die Psychologie die Selbstbeobachtung bisher der einzige Weg des Erkennens gewesen ist, wir es aber hier mit geistigen Thätigkeiten zu thun haben, von denen uns die Selbstbeobachtung gar keine Kunde giebt, deren Dasein wir vielmehr erst aus der physiologischen Untersuchung der Sinneswerkzeuge erschliessen können. Die Psychologen haben daher die geistigen Acte, von denen hier die Rede ist, auch meist unmittelbar zur sinnlichen Wahrnehmung gerechnet, und keinen näheren Aufschluss über sie zu erhalten gesucht.

Diejenigen, welche sich nicht entschliessen mochten, dem Denken und Schliessen eine Rolle bei den sinnlichen Wahrnehmungen einzuräumen, kamen zunächst zu der Annahme, dass das Bewusstsein aus dem Auge hinaustrete, längs des Lichtstrahls bis zu dem gesehenen Objecte sich hinbreite, und dieses an Ort und Stelle wahrnehme, etwa so, wie Platon es ausspricht: „Unter allen Organen bildeten die Götter die strahlenden Augen „zuerst. Ein Organ des Feuers, das nicht brennt, sondern ein „mildes Licht giebt, jedem Tage angemessen, hatten sie bei dieser „Bildung zur Absicht. Wenn des Auges Licht um den Ausfluss „des Gesichtes ist, und Gleiches zu Gleichem ausströmend sich „vereint, so entwirft sich in der Richtung der Augen ein Körper, „wo immer das aus dem Innern ausströmende Licht mit dem „äusseren zusammentrifft. Wenn aber das verwandte Feuer des „Tages in die Nacht vergeht, so ist auch das innere Licht ver„halten; denn in das Ungleichartige ausströmend verändert es „sich und erlischt, indem es durch keine Verwandtschaft der Luft „sich anfügen und mit ihr Eins werden kann, da sie selbst kein „Feuer hat.“ Diese Stelle ist merkwürdig, weil darin ein Anerkenntniss der wichtigen Rolle liegt, welche das Auge bei der Lichtempfindung spielt. Man würde das innere Licht in dieser Beziehung der Nerventhätigkeit vergleichen können. Ebenso wie Platon das innere Licht ausströmen, an den erleuchteten Körpern mit dem äusseren Lichte zusammenkommen, und hier das Bewusstsein von der Anwesenheit des Körpers entstehen lässt, so liessen Neuere das geheimnissvolle Nervenagens aus dem Auge ausströmen, und an den Körpern selbst diese erkennen. Namentlich huldigten die Anhänger des thierischen Magnetismus dieser Lehre, welche überhaupt ihre ganze Theorie auf die Annahme

Digitized by Google

einer Nervenatmosphäre gebaut hatten, die den menschlichen Körper umgeben sollte. Sie liessen das Nervenfluidum bekanntlich Reisen zu den entferntesten Theilen der Erde und selbst des Weltalls antreten, um dort auszukundschaften, was der neugierige Magnetiseur zu wissen wünschte. Obgleich aber die beschriebene Vorstellung vom Sehen der sinnlichen Anschauung des gemeinen Lebens mehr entsprechen möchte, lässt sie sich nicht halten. Denn warum merkt es das ausströmende Nervenprincip oder Bewusstsein nicht, dass nur der Finger die Netzhaut gedrückt hat, und draussen gar kein Licht sei? und was geschieht ihm, wenn es draussen auf einen Spiegel stösst? wird das Bewusstsein von ihm nach denselben Gesetzen, wie das Licht, zurückgeworfen? und warum täuscht es sich nachher über den Ort des durch den Spiegel gesehenen Körpers? Wir verwickeln uns in die grössten Absurditäten, wenn wir dieser Hypothese nachgehen, eben deshalb hat sich dieselbe niemals Eingang in die ernstere Wissenschaft verschaffen können.

Wenn aber das Bewusstsein nicht unmittelbar am Orte der Körper selbst diese wahrnimmt, so kann es nur durch einen Schluss zu ihrer Kenntniss kommen. Denn nur durch Schlüsse können wir überhaupt das erkennen, was wir nicht unmittelbar wahrnehmen. Dass es nicht ein mit Selbstbewusstsein vollzogener Schluss sei, darüber sind wir einig. Vielmehr hat er mehr den Charakter eines mechanisch eingeübten, der in die Reihe der unwillkührlichen Ideenverbindungen getreten ist, wie solche zu entstehen pflegen, wenn zwei Vorstellungen sehr häufig mit einander verbunden vorgekommen sind. Dann ruft jedesmal die eine mit einer gewissen Naturnothwendigkeit die andere hervor. Denken Sie an einen gewandten Schauspieler, der uns die Kleidung, die Bewegungen und Sitten der Person, welche er darstellt, getreu vorführt. Wir werden uns allerdings jeden Augenblick darauf besinnen können, dass das, was wir auf der Bühne sehen, nicht die Person der Rolle, sondern der Schauspieler N. sei, den wir auch schon in den und den anderen Rollen gesehen haben, aber diese Vorstellung, als ein Act des freien und selbstbewussten Denkens, wird doch die Täuschung nicht beseitigen, welche uns fortdauernd die Vorstellung von der Person der Rolle lebendig erhält. Wir werden der Person auf der Bühne unwillkührlich fortdauernd die Gefühle zumuthen, welche der Rolle entsprechen, und eine danach eingerichtete Handlungsweise erwarten. Ja bei der höchsten Vollendung dramatischer Darstellung kommt uns

Digitized by Google

nicht einmal die Kunst des Schauspielers zum Bewusstsein, weil wir das, was er thut, ganz natürlich finden, und nur durch den Vergleich mit ungeschickteren Mitschauspielern, bei denen wir fortdauernd durch Züge, welche der Person des Schauspielers und nicht der der Rolle angehören, an die stattfindende Täuschung erinnert werden, lernen wir einen Schauspieler ersten Ranges schätzen.

Gerade so ist es bei den optischen Täuschungen, wenn wir ihren Mechanismus einsehen. Wir wissen in solchen Fällen, dass die Vorstellung, welche der sinnliche Eindruck in uns hervorruft, unrichtig ist; das hindert aber nicht, dass diese Vorstellung in all ihrer Lebhaftigkeit bestehen bleibt. Und während es beim Schauspieler vielleicht nur conventionelle Formen der Kleidung, Bewegung, Sprechweise sind, die die Täuschung erhalten, und wir höchstens bei leidenschaftlichen Aufregungen an eine natürliche Verbindung des Gefühls und seiner Zeichen, welche der Schauspieler vorführt, denken können, so haben wir es bei den Sinneswahrnehmungen mit einer Verbindung von Vorstellungen zu thun, welche durch die Natur unserer Sinne selbst bedingt ist, also auch viel seltenere Ausnahmen zulässt, als die Formen der menschlichen Sitte. Unser ganzes Leben hindurch haben wir in millionenfacher Wiederholung der Fälle erfahren, dass, wenn ein Gegenstand in den und den Nervenfasern unserer beiden Augen, bei einer gewissen Stellung derselben, Lichtempfindung erregte, wir den Arm so weit ausstrecken mussten, oder so und so viele Schritte gehen mussten, um ihn zu erreichen. Dadurch ist denn die unwillkührliche Verbindung zwischen dem bestimmten Gesichtseindrucke und der Entfernung und Richtung, in welcher der Gegenstand zu suchen ist, hergestellt, und so entsteht und erhält sich die Vorstellung eines solchen Gegenstandes, wenn uns z. B. das Stereoskop die entsprechenden Gesichtseindrücke hervorruft, auch gegen unsere besser begründete Ueberzeugung, gerade wie uns die Kleider und Bewegungen des Schauspielers die lebendige Anschauung der Person der Rolle aufrecht erhalten. Im letzteren Falle ist die Verbindung zwischen dem Aeusseren und dem Wesen der Person, z. B. zwischen männlichen Kleidern und einem Manne, doch rein conventionell, nicht einmal durch Naturnothwendigkeit gegeben, also jedenfalls nur angelernt, nicht angeboren. Was die Beurtheilung der Entfernung durch die Augen betrifft, so können wir wohl ebenfalls nicht zweifeln, dass diese durch Einübung angelernt sei. Wir sehen deutlich bei jungen Kindern, dass sie ganz falsche Vorstellungen von den

Digitized by Google

Entfernungen der Gegenstände haben, die sie erblicken, und mancher von Ihnen wird sich vielleicht aus seiner Jugend noch Begebnisse zurückrufen können, wo er in grober Täuschung über die Entfernungen war. Ich entsinne mich selbst noch deutlich des Augenblickes, wo mir das Gesetz der Perspective aufging, dass entfernte Dinge klein aussehen. Ich ging an einem hohen Thurme vorbei, auf dessen oberster Gallerie sich Menschen befanden, und muthete meiner Mutter zu, mir die niedlichen Püppchen herunterzulangen, da ich durchaus der Meinung war, wenn sie den Arm ausrecke, werde sie nach der Gallerie des Thurmes hingreifen können. Später habe ich noch oft nach der Gallerie jenes Thurmes emporgesehen, wenn sich Menschen darauf befanden, aber sie wollten dem geübteren Auge nicht mehr zu niedlichen Püppchen werden.

Durch das Princip der Einübung, der Erziehung unserer Sinnesorgane, erklärt sich auch die Sicherheit und Genauigkeit in der Raumconstruction unserer Augen. Mit welcher die künstlichsten Maschinen übertreffenden Genauigkeit wir die Organe unseres Körpers gebrauchen lernen können, zeigen die Uebungen des Jongleurs, die Stösse gewandter Billardspieler. Wir alle sind, kann man sagen, Jongleurs mit den Augen, denn wir haben jedenfalls viel anhaltender und länger uns in der Beurtheilung unserer Gesichtsobjecte geübt, als unsere gymnastischen Künstler in ihren Kugelspielen und Balancirübungen, wir erregen mit unserer Kunstfertigkeit nur deshalb kein Aufsehen, weil jeder Andere dieselbe Reihe von Kunststücken ausführen kann.

Indem wir sehen gelernt haben, haben wir eben nur gelernt, die Vorstellung eines gewissen Gegenstandes mit gewissen Empfindungen zu verknüpfen, welche wir wahrnehmen. Die Mittelglieder, mittels deren die Empfindungen zu Stande kommen, interessiren uns dabei gar nicht, ohne wissenschaftliche Untersuchung lernen wir sie auch gar nicht kennen. Zu diesen Mittelgliedern gehört auch das optische Bild auf der Netzhaut. Der Umstand, dass es auf dem Kopfe steht, und wir die Gegenstände doch aufrecht sehen, hat viele Verwunderung und eine unendliche Menge unnützer Erklärungsversuche hervorgerufen. Wir haben durch Erfahrung gelernt: Lichtempfindung in gewissen Fasern des Sehnerven bezeichnet helle Gegenstände oben im Gesichtsfelde, Lichtempfindung in gewissen anderen Fasern unten. Wo diese Fasern in der Netzhaut, im Sehnerven liegen, ist dabei ganz einerlei, wenn wir nur im Stande sind, den Eindruck der einen Faser von dem der anderen zu unterscheiden. Dass

Digitized by Google

es eine Netzhaut und optische Bilder darauf gebe, weiss ja der natürliche Mensch gar nicht. Wie soll ihn da die Lage des optischen Bildes auf der Netzhaut irre machen können?

In wie weit übrigens bei dem Verständniss unserer Sinneswahrnehmungen nur erlernte oder auch angeborene, und durch die Organisation des Menschen selbst wesentlich bedingte Verknüpfungen von Vorstellungen in Betracht kommen, lässt sich bis jetzt wohl kaum entscheiden. Bei Thieren beobachten wir instinctive Handlungen, die darauf hindeuten. Das neugeborene Kalb geht auf das Euter der Kuh zu, um zu saugen; das würde, wenn es mit Bewusstsein geschähe, ein Verständniss der Gesichtserscheinungen und eine Kenntniss des Gebrauches seiner Füsse voraussetzen, die nicht erlernt sein könnten. Aber wer von uns kann sich in die Seele eines neugeborenen Kalbes versetzen, um den Mechanismus dieser instinctiven Handlungen zu verstehen?

Somit wäre das, was ich früher das Denken und Schliessen der Vorstellungen genannt habe, nun doch wohl kein Denken und Schliessen, sondern nichts als eine mechanisch eingeübte Ideenverbindung? Ich bitte Sie, noch einen letzten Schritt weiter mit mir zu machen, einen Schritt, der uns wieder auf unseren Anfang, auf Kant, zurückführen wird. Wenn eine Verbindung zwischen der Vorstellung eines Körpers von gewissem Aussehen und gewisser Lage und unseren Sinnesempfindungen entstehen soll, so müssen wir doch erst die Vorstellung von solchen Körpern haben. Wie es aber mit dem Auge ist, so ist es auch mit den anderen Sinnen; wir nehmen nie die Gegenstände der Aussenwelt unmittelbar wahr, sondern wir nehmen nur Wirkungen dieser Gegenstände auf unsere Nervenapparate wahr, und das ist vom ersten Augenblicke unseres Lebens an so gewesen. Auf welche Weise sind wir denn nun zuerst aus der Welt der Empfindungen unserer Nerven hinübergelangt in die Welt der Wirklichkeit? Offenbar nur durch einen Schluss, wir müssen die Gegenwart äusserer Objecte, als der Ursachen unserer Nervenerregung voraussetzen, denn es kann keine Wirkung ohne Ursache sein. Woher wissen wir, dass keine Wirkung ohne Ursache sein könne? Ist das ein Erfahrungssatz? Man hat ihn dafür ausgeben wollen, aber wir sehen hier, wir brauchen diesen Satz, ehe wir noch irgend eine Kenntniss von den Dingen der Aussenwelt haben, wir brauchen ihn, um überhaupt nur zu der Erkenntniss zu kommen, dass es Objecte im Raume um uns giebt, zwischen denen ein Verhältniss von Ursache und Wirkung vor-

Digitized by Google

kommen kann. Können wir ihn aus der inneren Erfahrung unseres Selbstbewusstseins hernehmen? Nein; denn die selbstbewussten Acte unseres Willens und Denkens betrachten wir gerade als frei, d. h. wir leugnen, dass sie nothwendige Wirkungen ausreichender Ursachen seien. Die Untersuchung der Sinneswahrnehmungen führt uns also schliesslich auch noch zu der schon von Kant gefundenen Erkenntniss: dass der Satz: „Keine Wirkung ohne Ursache“, ein vor aller Erfahrung gegebenes Gesetz unseres Denkens sei [1]).

Es war der ausserordentlichste Fortschritt, den die Philosophie durch Kant machte, dass er das angeführte und die übrigen eingeborenen Formen der Anschauung und Gesetze des Denkens aufsuchte und als solche nachwies, und damit, wie ich schon vorher erwähnte, für die Lehre von den Vorstellungen überhaupt dasselbe leistete, was in einem engeren Kreise für die unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmungen auf empirischen Wegen die Physiologie durch Johannes Müller leistete. Wie letzterer in den Sinneswahrnehmungen den Einfluss der besonderen Thätigkeit der Organe nachwies, so wies Kant nach, was in unseren Vorstellungen von den besonderen und eigenthümlichen Gesetzen des denkenden Geistes herrühre. Sie sehen also, dass Kant's Ideen noch leben, und noch immer sich reicher entfalten, selbst in Gebieten, wo man ihre Früchte vielleicht nicht gesucht haben würde. Auch hoffe ich Ihnen klar gemacht zu haben, dass der Gegensatz zwischen Philosophie und Naturwissenschaften sich nicht auf alle Philosophie überhaupt, sondern nur auf gewisse neuere Systeme der Philosophie bezieht, und dass das gemeinsame Band, welches alle Wissenschaften verbinden soll, keineswegs durch die neuere Naturwissenschaft zerrissen ist. Ja ich fürchte sogar, dass Sie auf meinen heutigen naturwissenschaftlichen Vortrag das Sprüchlein anwenden könnten, welches Mephistopheles eigentlich auf die Philosophen gemünzt hat:

> Dann lehret man euch manchen Tag,
> Dass, was ihr sonst auf einen Schlag
> Getrieben, wie Essen und Trinken frei,
> Eins! Zwei! Drei! dazu nöthig sei.

---

[1]) Spätere genauere Erörterungen des Sinnes dieses Satzes finden sich in meiner Rede über „Die Thatsachen in der Wahrnehmung“, Bd. II, S. 217 dieser Sammlung.

Digitized by Google

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Die Lehre von den Tonempfindungen,

als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik.

Von **H. Helmholtz.**

Vierte umgearbeitete Ausgabe. Mit in den Text eingedruckten Holzstichen. gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 12 ℳ.

Handbuch der theoretischen Physik

von **W. Thomson** und **P. G. Tait.**

Autorisirte deutsche Uebersetzung von

Dr. H. Helmholtz und **G. Wertheim.**

Mit in den Text eingedruckten Holzstichen. gr. 8. Fein Velinpap. geh.
Erster Band. Preis 19 ℳ.

Faraday und seine Entdeckungen.

Eine Gedenkschrift von

John Tyndall,

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe herausgegeben durch **H. Helmholtz.**

8. Fein Velinpap. geh. Preis 4 ℳ.

Die Wärme

betrachtet als eine Art der Bewegung von

John Tyndall,

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe, herausgegeben durch **H. Helmholtz** und **G. Wiedemann** nach der fünften Auflage des Originals.

Dritte vermehrte Auflage. Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen und einer Tafel. 8. geh. Preis 9 ℳ.

Der Schall.

Acht Vorlesungen, gehalten in der Royal Institution von Grossbritannien

von **John Tyndall,**

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe herausgegeben durch

H. Helmholtz und **G. Wiedemann.**

Zweite Auflage. Mit Holzstichen. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 6 ℳ.

Vorlesungen über die Wellentheorie des Lichtes.

Von **É. Verdet.**

Deutsche Bearbeitung von

Dr. Karl Exner.

Erster Band. Mit in den Text eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh.
Preis 12 ℳ 40 ₰.

Digitized by Google

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Fragmente aus den Naturwissenschaften.

Vorlesungen und Aufsätze von
John Tyndall,
Professor der Physik an der Royal Institution zu London.
Autorisirte deutsche Ausgabe, übersetzt von
A. H.
Mit Vorwort und Zusätzen von
Prof. H. Helmholtz.
Mit in den Text eingedruckten Holzstichen. 8. geh. Preis 12 ℳ

Einleitung in die höhere Optik

von **August Beer.**
Zweite umgestaltete Auflage bearbeitet von
Viktor von Lang.
Mit 201 in den Text eingedruckten Holzstichen und einer Tafel.
gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 9 ℳ

Müller-Pouillet's

Lehrbuch der Physik und Meteorologie.

Achte umgearbeitete und vermehrte Auflage bearbeitet von
Dr. Leop. Pfaundler,
Professor der Physik an der Universität Innsbruck.
In drei Bänden. Mit gegen 2000 in den Text eingedruckten Holzstichen, Tafeln, zum Theil in Farbendruck, und einer Photographie. gr. 8. geh.
Preis zus. 39 ℳ

Die Lehre von der Elektricität

von **Gustav Wiedemann.**
Zugleich als dritte völlig umgearbeitete Auflage der Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus.
Mit zahlreichen Holzstichen und zwei Tafeln. gr. 8.
Band I. geh. Preis 20 ℳ, geb. Preis 21 ℳ
Band II. geh. Preis 25 ℳ, geb. Preis 26 ℳ
Band III. geh. Preis 24 ℳ, geb. Preis 25 ℳ
(Band IV., Schluss des Werkes, befindet sich unter der Presse.)

Lehrbuch der kosmischen Physik.

Von **Dr. Joh. Müller,**
Professor zu Freiburg im Breisgau.
Ergänzungsband zu sämmtlichen Auflagen von Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik.
Vierte Auflage. Zweite, wohlfeile Ausgabe.
Mit 431 in den Text eingedruckten Holzstichen und 25 dem Texte gegebenen, sowie einem Atlas von 46 zum Theil in Farbendruck ausgeführten Tafeln. gr. 8. geh. **Preis 12 ℳ**

S182.1.5

VORTRÄGE UND REDEN

VON

HERMANN VON HELMHOLTZ.

ZUGLEICH DRITTE AUFLAGE DER

„POPULÄREN WISSENSCHAFTLICHEN VORTRÄGE“

DES VERFASSERS.

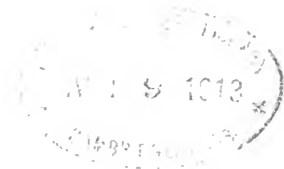
ZWEITER BAND.

MIT IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1884.

Digitized by Google

182.1.5



Mrs Greeley S. Curtis.
Boston.

Alle Rechte vorbehalten.

Digitized by Google

VORREDE ZUM ZWEITEN BANDE.

Ueber die einzelnen Vorträge dieses Bandes ist Folgendes zu bemerken:

1. Ueber die Axiome der Geometrie. Dieser Vortrag ist ein Versuch, den Inhalt einer in den „Göttinger gelehrten Anzeigen" vom 3. Juni 1868 veröffentlichten Untersuchung einem Kreise von Nicht-Mathematikern zugänglich zu machen, und giebt in stark überarbeiteter Form einen Vortrag wieder, den ich in diesem Sinne im Docentenverein zu Heidelberg 1869 gehalten hatte. Die zweite Hälfte namentlich wurde erst für die Veröffentlichung in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen", Heft III, hinzugefügt, und ist durch die unglaublichen Missverständnisse und Entstellungen veranlasst worden, denen Riemann's und meine Arbeit in der philosophischen Polemik begegnet war.

2. Zum Gedächtniss an Gustav Magnus, zuerst veröffentlicht in den „Denkschriften der Akademie der Wissenschaften zu Berlin", Jahrgang 1871, S. 1;

Digitized by Google

dann in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen“, Heft III.

3. Ueber die Entstehung des Planetensystems. Dieser Aufsatz gehörte ursprünglich in denselben Cyclus von Vorlesungen, aus dem auch der im ersten Bande abgedruckte Aufsatz über die Erhaltung der Kraft entnommen ist, und wurde in dieser Gestalt 1876 für die „Populären wissenschaftlichen Vorträge“, Heft III, ausgearbeitet. Das Thema ist in neuerer Zeit ein Lieblingsgegenstand populärer naturwissenschaftlicher und philosophischer Besprechungen gewesen. Dem Inhalte nach war nichts Neues darüber beizubringen, aber eine zusammenhängende Darstellung der thatsächlichen Grundlagen, die zu den verbreiteten Ansichten über diese Frage geführt haben, schien mir immer noch wünschenswerth zu sein. Dass vieles Einzelne darin sich mit Theilen des früher veröffentlichten Vortrages über die Wechselwirkung der Naturkräfte decken musste, liess sich leider nicht vermeiden. Ein zu den auf S. 91 ausgesprochenen Sätzen früher gemachter Zusatz, der eine Polemik J. C. F. Zoellner's abwehrte, und aus der Vorrede zu der Uebersetzung des „Handbuchs der theoretischen Physik“ von W. Thomson und P. G. Tait entnommen war, ist hier weggelassen, weil diese Vorrede unter Nro. 11 vollständig abgedruckt ist.

4. Optisches über Malerei. Dieser Aufsatz ist eine Zusammenfassung mehrerer Einzelvorträge, die ich in verschiedenen Städten gehalten und worin ich das besprochene Thema nach verschiedenen Richtungen hin zu entwickeln versucht hatte. Dadurch ist es

Digitized by Google

gekommen, dass derselbe durch seine Länge die Grenzen eines mündlichen Vortrags bei Weitem überschreitet. Er wurde in dieser Form in den „Populären wissenschaftlichen Vorträgen“, Heft III, 1876, veröffentlicht.

5. Wirbelstürme und Gewitter, früher veröffentlicht in der „Deutschen Rundschau“ 1875.

6. Das Denken in der Medicin. Rede, gehalten am Stiftungstage des medicinisch-chirurgischen Friedrich-Wilhelms-Instituts am 2. August 1877, zuerst gedruckt als Programm des genannten Instituts, dann herausgegeben im Verlage von Aug. Hirschwald, Berlin, zweite Auflage mit Zusatz, 1878.

7. Ueber die akademische Freiheit der deutschen Universitäten. Rectoratsrede vom 15. October 1877, zuerst veröffentlicht als Programm der Universität, dann im Verlage von Aug. Hirschwald, Berlin 1878.

8. Die Thatsachen in der Wahrnehmung. Rectoratsrede vom 3. August 1878, zuerst veröffentlicht als Programm der Universität, dann überarbeitet und mit drei Beilagen im Verlage von Aug. Hirschwald. In der dritten Beilage sind einige Aenderungen angebracht, um den Ausdruck präciser zu machen und Missverständnisse abzuwehren, so viel an mir lag. Diese Beilage ist der wesentlichste Theil einer Antwort, die ich in dem englischen Journal „Mind“, Vol. III, p. 212 bis 224, gegen Einwürfe des Herrn Professor Land gegeben hatte. Der deutsche Originaltext jenes englischen Aufsatzes ist dann in der Sammlung meiner „Wissenschaftlichen Abhandlungen“, Bd. II, S. 640, Leipzig 1883, veröffentlicht.

Digitized by Google

9. Die neuere Entwickelung von Faraday's Ideen über Elektricität. Vortrag zu Faraday's Gedächtnissfeier, gehalten vor der Chemischen Gesellschaft zu London, 5. April 1881, veröffentlicht in englischer Sprache in „Journal of the Chemical Society, June 1881", hier zum ersten Male in deutscher Uebersetzung mit einigen durch die inzwischen vorgeschrittenen wissenschaftlichen Forschungen veranlassten Verbesserungen. Die Rede ist für Chemiker bestimmt, setzt also einen ziemlich weit gehenden Grad naturwissenschaftlicher, wenn auch nicht mathematischer Kenntnisse voraus.

10. Ueber die elektrischen Maasseinheiten nach den Berathungen des Pariser Congresses 1881. Vortrag, gehalten im hiesigen Elektrotechnischen Verein, zuerst abgedruckt in dessen Zeitschrift 1881. Der neue Abdruck ist stilistisch sehr stark durchgearbeitet, da der erste nur Correctur einer sehr unvollkommenen stenographischen Nachschrift war, und es ist eine Beilage über die neuesten Festsetzungen der Conferenz von 1884 beigefügt.

11. Kritisches, die schon in der Vorrede zum ersten Bande erwähnten Vorreden zu der deutschen Uebersetzung von W. Thomson and P. G. Tait: „A Treatise on Natural Philosophy" und J. Tyndall's „Fragments of Science."

Der unmittelbare Beweggrund zur Abfassung dieser Vorreden war durch die Angriffe J. C. F. Zoellner's gegen die englischen Autoren der genannten Bücher gegeben. Die in dem Anhange der zweiten Vorrede gegen Zoellner's eigene Behauptungen gerichtete, un-

Digitized by Google

verblümte Kritik mochte ich nicht unterdrücken, wenn auch dieser Autor inzwischen gestorben ist. Seit er sich in das Treiben der spiritistischen Kreise hineinziehen liess, ist es unter den Propheten dieser Lehre Sitte geworden, auf ihn als einen grossen Naturforscher hinzuweisen, um Laien dadurch zu verblüffen. Die genannte Vorrede ist geschrieben worden, ehe noch etwas von Zoellner's spiritistischen Neigungen bekannt geworden war, ja nach dem, was er über Tyndall's Beschreibung einer spiritistischen Sitzung bemerkt hatte, musste man ihn für einen überzeugten Gegner des Spiritismus halten. Die Vorrede mag also stehen bleiben als ein Zeugniss für das Urtheil, was man in naturwissenschaftlichen Kreisen über Zoellner's angeblich wissenschaftliche Leistungen ganz unabhängig von dem Streit über Spiritismus fällen musste. Dass er in diese letztere Verirrung fallen konnte, war allerdings die beste Rechtfertigung für die früher an ihm geübte Kritik.

Digitized by Google

INHALT DES ZWEITEN BANDES.

Digitized by Google

Digitized by Google

ÜBER DEN

URSPRUNG UND DIE BEDEUTUNG

DER

GEOMETRISCHEN AXIOME.

Vortrag,

gehalten im Docentenverein zu Heidelberg

im

Jahre 1870.

Digitized by Google

Die Thatsache, dass eine Wissenschaft von der Art bestehen und in der Weise aufgebaut werden kann, wie es bei der Geometrie der Fall ist, hat von jeher die Aufmerksamkeit aller derer, welche für die principiellen Fragen der Erkenntnisstheorie Interesse fühlten, im höchsten Grade in Anspruch nehmen müssen. Unter allen Zweigen menschlicher Wissenschaft giebt es keine zweite, die gleich ihr fertig, wie eine erzgerüstete Minerva aus dem Haupte des Zeus, hervorgesprungen erscheint, keine vor deren vernichtender Aegis Widerspruch und Zweifel so wenig ihre Augen aufzuschlagen wagten. Dabei fällt ihr in keiner Weise die mühsame und langwierige Aufgabe zu, Erfahrungsthatsachen sammeln zu müssen, wie es die Naturwissenschaften im engeren Sinne zu thun haben, sondern die ausschliessliche Form ihres wissenschaftlichen Verfahrens ist die Deduction. Schluss wird aus Schluss entwickelt, und doch zweifelt schliesslich Niemand von gesunden Sinnen daran, dass diese geometrischen Sätze ihre sehr praktische Anwendung auf die uns umgebende Wirklichkeit finden müssen. Die Feldmesskunst wie die Architektur, die Maschinenbaukunst wie die mathematische Physik, sie berechnen fortdauernd Raumverhältnisse der verschiedensten Art nach geometrischen Sätzen, sie erwarten, dass der Erfolg ihrer Constructionen und Versuche sich diesen Rechnungen füge, und noch ist kein Fall bekannt geworden, wo sie sich in dieser Erwartung getäuscht hätten, vorausgesetzt, dass sie richtig und mit ausreichenden Daten gerechnet hatten.

In der That ist denn auch die Thatsache, dass Geometrie besteht und solches leistet, in dem Streite über diejenige Frage, welche gleichsam den Kernpunkt aller Gegensätze der philosophischen Systeme bildet, immer benutzt worden, um an einem im-

Digitized by Google

ponirenden Beispiele zu erweisen, dass ein Erkennen von Sätzen realen Inhalts ohne entsprechende aus der Erfahrung hergenommene Grundlage möglich sei. Namentlich bilden bei der Beantwortung von Kant's berühmter Frage: „Wie sind synthetische Sätze a priori möglich?“ die geometrischen Axiome wohl diejenigen Beispiele, welche am evidentesten zu zeigen schienen, dass überhaupt synthetische Sätze a priori möglich seien. Weiter gilt ihm der Umstand, dass solche Sätze existiren und sich unserer Ueberzeugung mit Nothwendigkeit aufdrängen, als Beweis dafür, dass der Raum eine a priori gegebene Form aller äusseren Anschauung sei. Er scheint dadurch für diese a priori gegebene Form nicht nur den Charakter eines rein formalen und an sich inhaltsleeren Schema in Anspruch zu nehmen, in welches jeder beliebige Inhalt der Erfahrung passen würde, sondern auch gewisse Besonderheiten des Schema mit einzuschliessen, die bewirken, dass eben nur ein in gewisser Weise gesetzmässig beschränkter Inhalt in dasselbe eintreten und uns anschaubar werden könne [1]).

Eben dieses erkenntnisstheoretische Interesse der Geometrie ist es nun, welches mir den Muth giebt in einer Versammlung, deren Mitglieder nur zum kleinsten Theile tiefer, als es der Schulunterricht mit sich brachte, in mathematische Studien eingedrungen sind, von geometrischen Dingen zu reden. Glücklicher Weise wird auch das, was der Gymnasialunterricht an geometrischen Kenntnissen zu lehren pflegt, wie ich denke, genügen, um Ihnen wenigstens den Sinn der im Folgenden zu besprechenden Sätze verständlich zu machen.

Ich beabsichtige nämlich Ihnen Bericht zu erstatten über eine Reihe sich aneinander schliessender neuerer mathematischer Arbeiten, welche die geometrischen Axiome, ihre Beziehungen zur

---

[1]) In seinem Buche „Ueber die Grenzen der Philosophie“ behauptet Herr W. Tobias, Sätze ähnlichen Sinnes, die ich früher ausgesprochen hatte, seien ein Missverständniss von Kant's Meinung. Aber Kant führt speciell die Sätze, dass die gerade Linie die kürzeste sei (Kritik d. r. Vernunft. Einleitung V, 2. Aufl. S. 16), dass der Raum drei Dimensionen habe (Ebend. Th. I, Absch. 1. § 3, S. 41), dass nur eine gerade Linie zwischen zwei Punkten möglich sei (Ebend. Th. II, Abth. I, von den Axiomen der Anschauung S. 204), als Sätze an, „welche die Bedingungen der sinnlichen Anschauung a priori ausdrücken.“ Ob diese Sätze aber ursprünglich in der Raumanschauung gegeben sind, oder diese nur die Anhaltspunkte giebt, aus denen der Verstand solche Sätze a priori entwickeln kann, worauf mein Kritiker Gewicht legt, darauf kommt es hier gar nicht an.

Digitized by Google

Erfahrung und die logische Möglichkeit, sie durch andere zu ersetzen, betreffen.

Da die darauf bezüglichen Originalarbeiten der Mathematiker, zunächst nur bestimmt Beweise für den Sachverständigen in einem Gebiete zu führen, welches eine höhere Kraft der Abstraction in Anspruch nimmt, als fast irgend ein anderes, dem Nichtmathematiker ziemlich unzugänglich sind, so will ich versuchen auch für einen solchen anschaulich zu machen, um was es sich handelt. Ich brauche wohl nicht zu bemerken, dass meine Auseinandersetzung keinen Beweis von der Richtigkeit der neuen Einsichten geben soll. Wer einen solchen sucht, der muss sich schon die Mühe nehmen die Originalarbeiten zu studiren.

Wer einmal durch die Pforten der ersten elementaren Sätze in die Geometrie, das heisst die mathematische Lehre vom Raume, eingetreten ist, der findet vor sich auf seinem weiteren Wege jene lückenlosen Ketten von Schlüssen, von denen ich vorher gesprochen habe, durch welche immer mannigfachere und verwickeltere Raumformen ihre Gesetze empfangen. Aber in jenen ersten Elementen werden einige Sätze aufgestellt, von denen die Geometrie selbst erklärt, dass sie sie nicht beweisen könne, dass sie nur darauf rechnen müsse, Jeder, der den Sinn dieser Sätze verstehe, werde ihre Richtigkeit zugeben. Das sind die sogenannten Axiome der Geometrie. Zu diesen gehört zunächst der Satz, dass, wenn man die kürzeste Linie, die zwischen zwei Punkten gezogen werden kann, eine gerade Linie nennt, es zwischen zwei Punkten nur eine und nicht zwei verschiedene solche gerade Linien geben könne. Es ist ferner ein Axiom, dass durch je drei Punkte des Raumes, die nicht in einer geraden Linie liegen, eine Ebene gelegt werden kann, das heisst eine Fläche, in welche jede gerade Linie, die zwei ihrer Punkte verbindet, ganz hinein fällt. Ein anderes vielbesprochenes Axiom sagt aus, dass durch einen ausserhalb einer geraden Linie liegenden Punkt nur eine einzige und nicht zwei verschiedene jener ersten parallele Linien gelegt werden können. Parallel aber nennt man zwei Linien, die in ein und derselben Ebene liegen und sich niemals schneiden, so weit sie auch verlängert werden mögen. Ausserdem sprechen die geometrischen Axiome Sätze aus, welche die Anzahl der Dimensionen sowohl des Raumes als seiner Flächen, Linien, Punkte bestimmen, und den Begriff der Continuität dieser Gebilde erläutern, wie die Sätze, dass die Grenze eines Körpers eine Fläche, die einer Fläche eine Linie, die einer Linie ein Punkt, und der Punkt untheilbar ist, und die Sätze, dass

Digitized by Google

durch Bewegung eines Punktes eine Linie, durch Bewegung einer Linie eine Linie oder Fläche, durch die einer Fläche eine Fläche oder ein Körper, durch Bewegung eines Körpers aber immer nur wieder ein Körper beschrieben werde.

Woher kommen nun solche Sätze, unbeweisbar und doch unzweifelhaft richtig im Felde einer Wissenschaft, wo sich alles Andere der Herrschaft des Schlusses hat unterwerfen lassen? Sind sie ein Erbtheil aus der göttlichen Quelle unserer Vernunft, wie die idealistischen Philosophen meinen, oder ist der Scharfsinn der bisher aufgetretenen Generationen von Mathematikern nur noch nicht ausreichend gewesen den Beweis zu finden? Natürlich versucht jeder neue Jünger der Geometrie, der mit frischem Eifer an diese Wissenschaft herantritt, der Glückliche zu sein, welcher alle Vorgänger überflügelt. Auch ist es ganz recht, dass ein Jeder sich von Neuem daran versucht; denn nur durch die Fruchtlosigkeit der eigenen Versuche konnte man sich bei der bisherigen Sachlage von der Unmöglichkeit des Beweises überzeugen. Leider finden sich von Zeit zu Zeit auch immer wieder einzelne Grübler, welche sich so lange und tief in verwickelte Schlussfolgen verstricken, bis sie die begangenen Fehler nicht mehr entdecken können und die Sache gelöst zu haben glauben. Namentlich der Satz von den Parallelen hat eine grosse Zahl scheinbarer Beweise hervorgerufen.

Die grösste Schwierigkeit in diesen Untersuchungen bestand und besteht immer darin, dass sich mit den logischen Begriffsentwickelungen gar zu leicht Ergebnisse der alltäglichen Erfahrung als scheinbare Denknothwendigkeiten vermischten, so lange die einzige Methode der Geometrie die von Euklides gelehrte Methode der Anschauung war. Namentlich ist es ausserordentlich schwer, auf diesem Wege vorschreitend sich überall klar zu machen, ob man in den Schritten, die man für die Beweisführung nach einander vorschreibt, nicht unwillkürlich und unwissentlich gewisse allgemeinste Ergebnisse der Erfahrung zu Hilfe nimmt, welche die Ausführbarkeit gewisser vorgeschriebener Theile des Verfahrens uns schon praktisch gelehrt haben. Der wohlgeschulte Geometer fragt bei jeder Hilfslinie, die er für irgend einen Beweis zieht, ob es auch immer möglich sein wird eine Linie von der verlangten Art zu ziehen. Bekanntlich spielen die Constructionsaufgaben in dem Systeme der Geometrie eine wesentliche Rolle. Oberflächlich betrachtet sehen dieselben aus wie praktische Anwendungen, welche man zur Einübung der Schüler hineingesetzt hat. In Wahrheit aber stellen sie die Existenz gewisser Gebilde fest. Sie zeigen,

Digitized by Google

dass Punkte, gerade Linien oder Kreise von der Art, wie sie in der Aufgabe zu construiren verlangt werden, entweder unter allen Bedingungen möglich sind, oder bestimmen die etwa vorhandenen Ausnahmsfälle. Der Punkt, um den sich die im Folgenden zu besprechenden Untersuchungen drehen, ist wesentlich dieser Art. Die Grundlage aller Beweise in der Euklidischen Methode ist der Nachweis der Congruenz der betreffenden Linien, Winkel, ebenen Figuren, Körper u. s. w. Um die Congruenz anschaulich zu machen, stellt man sich vor, dass die betreffenden geometrischen Gebilde zu einander hinbewegt werden, natürlich ohne ihre Form und Dimensionen zu verändern. Dass dies in der That möglich und ausführbar sei, haben wir alle von frühester Jugend an erfahren. Wenn wir aber Denknothwendigkeiten auf diese Annahme freier Beweglichkeit fester Raumgebilde mit unveränderter Form nach jeder Stelle des Raumes hin bauen wollen, so müssen wir die Frage aufwerfen, ob diese Annahme keine logisch unerwiesene Voraussetzung einschliesst. Wir werden gleich nachher sehen, dass sie in der That eine solche einschliesst, und zwar eine sehr folgenreiche. Wenn sie das aber thut, so ist jeder Congruenzbeweis auf eine nur aus der Erfahrung genommene Thatsache gestützt.

Ich führe diese Ueberlegungen hier zunächst nur an, um klar zu machen, auf welche Schwierigkeiten wir bei der vollständigen Analyse aller von uns gemachten Voraussetzungen nach der Methode der Anschauung stossen. Ihnen entgehen wir, wenn wir die von der neueren rechnenden Geometrie ausgearbeitete analytische Methode auf die Untersuchung der Principien anwenden. Die ganze Ausführung der Rechnung ist eine rein logische Operation, sie kann keine Beziehung zwischen den der Rechnung unterworfenen Grössen ergeben, die nicht schon in den Gleichungen, welche den Ansatz der Rechnung bilden, enthalten ist. Die erwähnten neueren Untersuchungen sind deshalb fast ausschliesslich mittels der rein abstracten Methoden der analytischen Geometrie geführt worden.

Uebrigens lässt sich nun doch, nachdem die abstracte Methode die Punkte kennen gelehrt hat, auf die es ankommt, einigermaassen eine Anschauung dieser Punkte geben, am besten, wenn wir in ein engeres Gebiet herabsteigen, als unsere eigene Raumwelt ist. Denken wir uns — darin liegt keine logische Unmöglichkeit — verstandbegabte Wesen von nur zwei Dimensionen, die an der Oberfläche irgend eines unserer festen Körper leben und

Digitized by Google

sich bewegen. Wir nehmen an, dass sie nicht die Fähigkeit haben, irgend etwas ausserhalb dieser Oberfläche wahrzunehmen, wohl aber Wahrnehmungen, ähnlich den unserigen, innerhalb der Ausdehnung der Fläche, in der sie sich bewegen, zu machen. Wenn sich solche Wesen ihre Geometrie ausbilden, so würden sie ihrem Raume natürlich nur zwei Dimensionen zuschreiben. Sie würden ermitteln, dass ein Punkt, der sich bewegt, eine Linie beschreibt, und eine Linie, die sich bewegt, eine Fläche, was für sie das vollständigste Raumgebilde wäre, was sie kennen. Aber sie würden sich ebenso wenig von einem weiteren räumlichen Gebilde, was entstände, wenn eine Fläche sich aus ihrem flächenhaften Raume herausbewegte, eine Vorstellung machen können, als wir es können von einem Gebilde, das durch Herausbewegung eines Körpers aus dem uns bekannten Raume entstände. Unter dem viel gemissbrauchten Ausdrucke „sich vorstellen“ oder „sich denken können, wie etwas geschieht“ verstehe ich — und ich sehe nicht, wie man etwas Anderes darunter verstehen könne, ohne allen Sinn des Ausdrucks aufzugeben —, dass man sich die Reihe der sinnlichen Eindrücke ausmalen könne, die man haben würde, wenn so etwas in einem einzelnen Falle vor sich ginge. Ist nun gar kein sinnlicher Eindruck bekannt, der sich auf einen solchen nie beobachteten Vorgang bezöge, wie für uns eine Bewegung nach einer vierten, für jene Flächenwesen eine Bewegung nach der uns bekannten dritten Dimension des Raumes wäre, so ist ein solches „Vorstellen“ nicht möglich, ebenso wenig als ein von Jugend auf absolut Blinder sich wird die Farben „vorstellen“ können, wenn man ihm auch eine begriffliche Beschreibung derselben geben könnte.

Jene Flächenwesen würden ferner auch kürzeste Linien in ihrem flächenhaften Raume ziehen können. Das wären nicht nothwendig gerade Linien in unserem Sinne, sondern was wir nach geometrischer Terminologie geodätische Linien der Fläche, auf der jene leben, nennen würden, Linien, wie sie ein gespannter Faden beschreibt, den man an die Fläche anlegt, und der ungehindert an ihr gleiten kann. Ich will mir erlauben, im Folgenden dergleichen Linien als die geradesten Linien der bezeichneten Fläche (beziehlich eines gegebenen Raumes) zu bezeichnen, um dadurch ihre Analogie mit der geraden Linie in der Ebene hervorzuheben. Ich hoffe den Begriff durch diesen Ausdruck der Anschauung meiner nicht mathematischen Zuhörer näher zu rücken, ohne doch Verwechselungen zu veranlassen.

Digitized by Google

Wenn nun Wesen dieser Art auf einer unendlichen Ebene lebten, so würden sie genau dieselbe Geometrie aufstellen, welche in unserer Planimetrie enthalten ist. Sie würden behaupten, dass zwischen zwei Punkten nur eine gerade Linie möglich ist, dass durch einen dritten, ausserhalb derselben liegenden Punkt nur eine Parallele mit der ersten geführt werden kann, dass übrigens gerade Linien in das Unendliche verlängert werden können, ohne dass ihre Enden sich wieder begegnen, und so weiter. Ihr Raum könnte unendlich ausgedehnt sein, aber auch wenn sie an Grenzen ihrer Bewegung und Wahrnehmung stiessen, so würden sie sich eine Fortsetzung jenseits dieser Grenzen anschaulich vorstellen können, und in dieser Vorstellung würde ihr Raum ihnen unendlich ausgedehnt erscheinen, gerade wie uns der unserige, obgleich auch wir mit unserem Leibe nicht unsere Erde verlassen können, und unser Blick nur so weit reicht, als sichtbare Fixsterne vorhanden sind.

Nun könnten aber intelligente Wesen dieser Art auch an der Oberfläche einer Kugel leben. Ihre kürzeste oder geradeste Linie zwischen zwei Punkten würde dann ein Bogen des grössten Kreises sein, der durch die betreffenden Punkte zu legen ist. Jeder grösste Kreis, der durch zwei gegebene Punkte geht, zerfällt dabei in zwei Theile. Wenn beide ungleich lang sind, ist das kleinere allerdings die einzige kürzeste Linie auf der Kugel, die zwischen diesen beiden Punkten besteht. Aber auch der andere grössere Bogen desselben grössten Kreises ist eine geodätische oder geradeste Linie, d. h. jedes kleinere Stück desselben ist eine kürzeste Linie zwischen seinen beiden Endpunkten. Wegen dieses Umstandes können wir den Begriff der geodätischen oder geradesten Linie nicht kurzweg mit dem der kürzesten Linie identificiren. Wenn nun die beiden gegebenen Punkte Endpunkte desselben Durchmessers der Kugel sind, so schneiden alle durch diesen Durchmesser gelegten Ebenen Halbkreise aus der Kugelfläche, welche alle kürzeste Linien zwischen den beiden Endpunkten sind. In einem solchen Falle giebt es also unendlich viele unter einander gleiche kürzeste Linien zwischen den beiden gegebenen Punkten. Somit würde das Axiom, dass nur eine kürzeste Linie zwischen zwei Punkten bestehe, für die Kugelbewohner nicht ohne eine gewisse Ausnahme giltig sein.

Parallele Linien würden die Bewohner der Kugel gar nicht kennen. Sie würden behaupten, dass jede beliebige zwei geradeste Linien, gehörig verlängert, sich schliesslich nicht nur in einem, sondern in zwei Punkten schneiden müssten. Die Summe der

Digitized by Google

Winkel in einem Dreieck würde immer grösser sein als zwei Rechte, und um so grösser, je grösser die Fläche des Dreiecks. Eben deshalb würde ihnen auch der Begriff der geometrischen Aehnlichkeit der Form zwischen grösseren und kleineren Figuren derselben Art fehlen. Denn ein grösseres Dreieck muss nothwendig andere Winkel haben als ein kleineres. Ihr Raum würde allerdings unbegrenzt, aber endlich ausgedehnt gefunden oder mindestens vorgestellt werden müssen.

Es ist klar, dass die Wesen auf der Kugel bei denselben logischen Fähigkeiten, wie die auf der Ebene, doch ein ganz anderes System geometrischer Axiome aufstellen müssten, als jene und wir selbst in unserem Raume von drei Dimensionen. Diese Beispiele zeigen uns schon, dass je nach der Art des Wohnraumes verschiedene geometrische Axiome aufgestellt werden müssten von Wesen, deren Verstandeskräfte den unserigen ganz entsprechend sein könnten.

Aber gehen wir weiter. Denken wir uns vernünftige Wesen existirend an der Oberfläche eines eiförmigen Körpers. Zwischen je drei Punkten einer solchen Oberfläche könnte man kürzeste Linien ziehen und so ein Dreieck construiren. Wenn man aber versuchte an verschiedenen Stellen dieser Fläche congruente Dreiecke zu construiren, so würde sich zeigen, dass, wenn zwei Dreiecke gleich lange Seiten haben, ihre Winkel nicht gleich gross ausfallen. An dem spitzeren Ende des Eies gezeichnet, würde die Winkelsumme des Dreiecks sich mehr von zwei Rechten unterscheiden, als wenn ein Dreieck mit denselben Seiten an dem stumpferen Ende gezeichnet würde; daraus geht hervor, dass an einer solchen Fläche sich nicht einmal ein so einfaches Raumgebilde, wie ein Dreieck ist, ohne Aenderung seiner Form von einem Orte nach jedem anderen fortbewegen lassen würde. Ebenso würde sich zeigen, dass wenn an verschiedenen Stellen einer solchen Oberfläche Kreise mit gleichen Radien construirt würden (die Länge der Radien immer durch kürzeste Linien längs der Fläche gemessen), deren Peripherie am stumpfen Ende grösser ausfallen würde, als am spitzeren Ende.

Daraus folgt weiter, dass es eine besondere geometrische Eigenschaft einer Fläche ist, wenn sich in ihr liegende Figuren ohne Veränderung ihrer sämmtlichen längs der Fläche gemessenen Linien und Winkel frei verschieben lassen, und dass dies nicht auf jeder Art von Fläche der Fall sein wird. Die Bedingung dafür, dass eine Fläche diese wichtige Eigenschaft habe, hatte

Digitized by Google

schon Gauss in seiner berühmten Abhandlung über die Krümmung der Flächen nachgewiesen. Sie ist, dass das, was er das „Maass der Krümmung" genannt hat (nämlich der reciproke Werth des Products der beiden Hauptkrümmungsradien), überall längs der ganzen Ausdehnung der Fläche gleiche Grösse habe.

Gauss hat gleichzeitig nachgewiesen, dass dieses Maass der Krümmung sich nicht verändert, wenn die Fläche gebogen wird, ohne dass sie dabei in irgend einem Theile eine Dehnung oder Zusammenziehung erleidet. So können wir ein ebenes Papierblatt zu einem Cylinder oder einem Kegel (Düte) aufrollen, ohne dass die längs der Fläche des Blattes genommenen Abmessungen seiner Figuren sich verändern. Und ebenso können wir die halbkugelförmige geschlossene Hälfte einer Schweinsblase in Spindelform zusammenrollen, ohne die Abmessungen in dieser Fläche selbst zu verändern. Es wird also auch die Geometrie auf einer Ebene dieselbe sein wie in einer Cylinderfläche. Wir müssen uns nur im letzteren Falle vorstellen, dass unbegrenzt viele Lagen dieser Fläche, wie die Lagen eines umgewickelten Papierblatts, über einander liegen, und dass man bei jedem ganzen Umgang um den Cylinderumfang in eine andere Lage hineinkommt, verschieden von derjenigen, in der man sich früher befand.

Diese Bemerkungen sind nöthig, um Ihnen eine Vorstellung von einer Art von Fläche geben zu können, deren Geometrie der der Ebene im Ganzen ähnlich ist, für welche aber das Axiom von den Parallellinien nicht gilt. Es ist dies eine Art gekrümmter Fläche, welche sich in geometrischer Beziehung wie das Gegentheil einer Kugel verhält, und die deshalb von dem ausgezeichneten italienischen Mathematiker E. Beltrami[1]), der ihre Eigenschaften untersucht hat, die pseudosphärische Fläche genannt worden ist. Es ist eine sattelförmige Fläche, von der in unserem Raume nur begrenzte Stücke oder Streifen zusammenhängend dargestellt werden können, die man aber doch sich nach allen Richtungen in das Unendliche fortgesetzt denken kann, da man jedes an der Grenze des construirten Flächentheils liegende Stück nach der Mitte desselben zurückgeschoben und dann fortgesetzt denken kann. Das verschobene Flächenstück muss dabei seine Biegung, aber nicht seine Dimensionen ändern, gerade so wie man auf einem

---

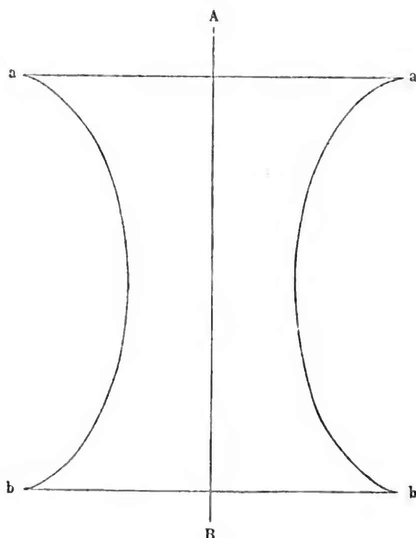
[1]) Saggio di Interpretazione della Geometria Non-Euclidea. Napoli 1868. — Teoria fondamentale degli Spazij di Curvatura costante. Annali di Matematica. Ser. I Tomo II, p. 232—255.

Digitized by Google

durch dütenförmiges Zusammenrollen einer Ebene entstandenen Kegel ein Papierblatt hin- und herschieben kann. Ein solches passt sich der Kegelfläche überall an, aber muss der Spitze des Kegels näher stärker gebogen werden und kann über die Spitze hinaus nicht so verschoben werden, dass es dem existirenden Kegel und seiner idealen Fortsetzung jenseits der Spitze angepasst bliebe.

Wie die Ebene und die Kugel sind die pseudosphärischen Flächen von constanter Krümmung, so dass sich jedes Stück der-

Fig. 1.



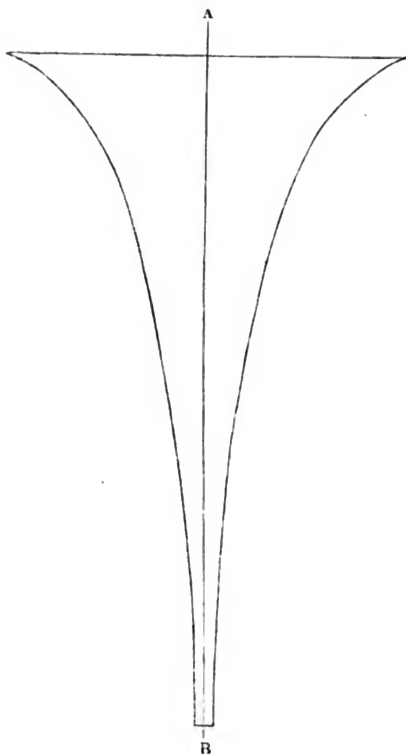
selben an jede andere Stelle der Fläche vollkommen anschliessend anlegen kann, und also alle an einem Orte in der Fläche construirten Figuren an jeden anderen Ort in vollkommen congruenter Form und mit vollkommener Gleichheit aller in der Fläche selbst liegenden Dimensionen übertragen werden können. Das von Gauss aufgestellte Maass der Krümmung, was für die Kugel positiv und für die Ebene gleich Null ist, würde für die pseudosphärischen Flächen einen constanten, negativen Werth haben, weil die beiden

Digitized by Google

Hauptkrümmungen einer sattelförmigen Fläche ihre Concavität nach entgegengesetzten Seiten kehren.

Ein Streifen einer pseudosphärischen Fläche kann zum Beispiel aufgewickelt als Oberfläche eines Ringes dargestellt werden. Denken Sie sich eine Fläche wie *aabb*, Fig. 1, um ihre Symmetrie-

Fig. 2.



axe *AB* gedreht, so würden die beiden Bogen *ab* eine solche pseudosphärische Ringfläche beschreiben. Die beiden Ränder der Fläche oben bei *aa* und unten bei *bb* würden sich mit immer schärfer werdender Biegung nach aussen wenden, bis die Fläche

Digitized by Google

senkrecht zur Axe steht, und dort würde sie mit einer unendlich starken Krümmung an der Kante enden. Auch zu einem kelchförmigen Champagnerglase mit unendlich verlängertem, immer dünner werdendem Stiele wie Fig. 2 (a. v. S.) könnte eine Hälfte einer pseudosphärischen Fläche aufgewickelt werden. Aber an einer Seite ist sie nothwendig immer durch einen scharf abbrechenden Rand begrenzt, über den hinaus eine continuirliche Fortsetzung der Fläche nicht unmittelbar ausgeführt werden kann. Nur dadurch, dass man jedes einzelne Stück des Randes losgeschnitten und längs der Fläche des Ringes oder Kelchglases verschoben denkt, kann man es zu Stellen von anderer Biegung bringen, an denen weitere Fortsetzung dieses Flächenstücks möglich ist.

In dieser Weise lassen sich denn auch die geradesten Linien der pseudosphärischen Fläche unendlich verlängern. Sie laufen nicht wie die der Kugel in sich zurück, sondern wie auf der Ebene ist zwischen zwei gegebenen Punkten immer nur eine einzige kürzeste Linie möglich. Aber das Axiom von den Parallelen trifft nicht zu. Wenn eine geradeste Linie auf der Fläche gegeben ist und ein Punkt ausserhalb derselben, so lässt sich ein ganzes Bündel von geradesten Linien durch den Punkt legen, welche alle die erstgenannte Linie nicht schneiden, auch wenn sie ins Unendliche verlängert werden. Es sind dies alle Linien, welche zwischen zwei das Bündel begrenzenden geradesten Linien liegen. Die eine von diesen, unendlich verlängert, trifft die erstgenannte Linie im Unendlichen bei Verlängerung nach einer Seite, die andere bei Verlängerung nach der anderen Seite.

Eine solche Geometrie, welche das Axiom von den Parallelen fallen lässt, ist übrigens schon im Jahre 1829 nach der synthetischen Methode des Euklid von N. J. Lobatschewsky, Professor der Mathematik zu Kasan, vollständig ausgearbeitet worden [1]). Es zeigte sich, dass deren System ebenso consequent und ohne Widerspruch durchzuführen sei, wie das des Euklides. Diese Geometrie ist in vollständiger Uebereinstimmung mit der der pseudosphärischen Flächen, wie sie Beltrami neuerdings ausgebildet hat.

Wir sehen daraus, dass in der Geometrie zweier Dimensionen die Voraussetzung, jede Figur könne ohne irgend welche Aenderung ihrer in der Fläche liegenden Dimensionen nach allen Rich-

[1]) Principien der Geometrie. Kasan, 1829 bis 1830.

Digitized by Google

tungen hin fortbewegt werden, die betreffende Fläche charakterisirt als Ebene oder Kugel oder pseudosphärische Fläche. Das Axiom, dass zwischen je zwei Punkten immer nur eine kürzeste Linie bestehe, trennt die Ebene und pseudosphärische Fläche von der Kugel, und das Axiom von den Parallelen scheidet die Ebene von der Pseudosphäre. Diese drei Axiome sind in der That also nothwendig und hinreichend, um die Fläche, auf welche sich die Euklidische Planimetrie bezieht, als Ebene zu charakterisiren, im Gegensatz zu allen anderen Raumgebilden zweier Dimensionen.

Der Unterschied zwischen der Geometrie in der Ebene und derjenigen auf der Kugelfläche ist längst klar und anschaulich gewesen, aber der Sinn des Axioms von den Parallelen konnte erst verstanden werden, nachdem von Gauss der Begriff der ohne Dehnung biegsamen Flächen und damit der möglichen unendlichen Fortsetzung der pseudosphärischen Flächen entwickelt worden war. Wir als Bewohner eines Raumes von drei Dimensionen und begabt mit Sinneswerkzeugen, um alle diese Dimensionen wahrzunehmen, können uns die verschiedenen Fälle, in denen flächenhafte Wesen ihre Raumanschauung auszubilden hätten, allerdings anschaulich vorstellen, weil wir zu diesem Ende nur unsere eigenen Anschauungen auf ein engeres Gebiet zu beschränken haben. Anschauungen, die man hat, sich wegdenken ist leicht; aber Anschauungen, für die man nie ein Analogon gehabt hat, sich sinnlich vorstellen ist sehr schwer. Wenn wir deshalb zum Raume von drei Dimensionen übergehen, so sind wir in unserem Vorstellungsvermögen gehemmt durch den Bau unserer Organe und die damit gewonnenen Erfahrungen, welche nur zu dem Raume passen, in dem wir leben.

Nun haben wir aber noch einen anderen Weg zur wissenschaftlichen Behandlung der Geometrie. Es sind nämlich alle uns bekannten Raumverhältnisse messbar, das heisst sie können auf Bestimmung von Grössen (von Linienlängen, Winkeln, Flächen, Volumina) zurückgeführt werden. Eben deshalb können die Aufgaben der Geometrie auch dadurch gelöst werden, dass man die Rechnungsmethoden aufsucht, mittels deren man die unbekannten Raumgrössen aus den bekannten herzuleiten hat. Dies geschieht in der analytischen Geometrie, in welcher die sämmtlichen Gebilde des Raumes nur als Grössen behandelt und durch andere Grössen bestimmt werden. Auch sprechen schon unsere Axiome von Raumgrössen. Die gerade Linie wird als die kürzeste zwischen zwei Punkten definirt, was eine Grössenbestimmung ist.

Digitized by Google

Das Axiom von den Parallelen sagt aus, dass, wenn zwei gerade Linien in derselben Ebene sich nicht schneiden (parallel sind), die Wechselwinkel, beziehlich die Gegenwinkel, an einer dritten sie schneidenden paarweise gleich sind. Oder dafür wird der Satz gesetzt, dass die Summe der Winkel in jedem Dreieck gleich zwei Rechten ist. Auch dies sind Grössenbestimmungen.

Man kann nun also auch von dieser Seite des Raumbegriffs ausgehen, wonach die Lage jedes Punktes, in Bezug auf irgend welches als fest angesehenes Raumgebilde (Coordinatensystem), durch Messungen irgend welcher Grössen bestimmt werden kann, und dann zusehen, welche besonderen Bestimmungen unserem Raume, wie er bei den thatsächlich auszuführenden Messungen sich darstellt, zukommen, und ob solche da sind, durch welche er sich von ähnlich mannigfaltig ausgedehnten Grössen unterscheidet. Diesen Weg hat zuerst der der Wissenschaft leider zu früh entrissene B. Riemann in Göttingen[1]) eingeschlagen. Dieser Weg hat den eigenthümlichen Vorzug, dass alle Operationen, die in ihm vorkommen, reine rechnende Grössenbestimmungen sind, wobei die Gefahr, dass sich gewohnte Anschauungsthatsachen als Denknothwendigkeiten unterschieben könnten, ganz wegfällt.

Die Zahl der Abmessungen, welche nöthig ist, um die Lage eines Punktes zu geben, ist gleich der Anzahl der Dimensionen des betreffenden Raumes. In einer Linie genügt der Abstand von einem festen Punkte, also eine Grösse; in einer Fläche muss man schon die Abstände von zwei festen Punkten angeben, im Raum von dreien, um die Lage des Punktes zu fixiren; oder wir brauchen, wie auf der Erde, geographische Länge, Breite und Höhe über dem Meere, oder, wie in der analytischen Geometrie gewöhnlich, die Abstände von drei Coordinatebenen. Riemann nennt ein System von Unterschieden, in welchem das Einzelne durch n Abmessungen bestimmt werden kann, eine $n$fach ausgedehnte Mannigfaltigkeit oder eine Mannigfaltigkeit von n Dimensionen. Somit ist also der uns bekannte Raum, in dem wir leben, eine dreifach ausgedehnte Mannigfaltigkeit von Punkten, eine Fläche eine zweifache, eine Linie eine einfache, die Zeit ebenso eine einfache. Auch das System der Farben bildet eine dreifache Mannigfaltigkeit, insofern jede Farbe nach Th. Young's und

[1]) „Ueber die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen", Habilitationsschrift vom 10. Juni 1854. Veröffentlicht in Bd. XIII der Abhandlungen der Königl. Gesellschaft zu Göttingen.

Digitized by Google

Cl. Maxwell's[1]) Untersuchungen dargestellt werden kann, als die Mischung dreier Grundfarben, von deren jeder ein bestimmtes Quantum anzuwenden ist. Mit dem Farbenkreisel kann man solche Mischungen und Abmessungen wirklich ausführen.

Ebenso könnten wir das Reich der einfachen Töne[2]) als eine Mannigfaltigkeit von zwei Dimensionen betrachten, wenn wir sie nur nach Tonhöhe und Tonstärke verschieden nehmen und die Verschiedenheiten der Klangfarbe bei Seite lassen. Diese Verallgemeinerung des Begriffs ist sehr geeignet, um hervortreten zu lassen, wodurch sich der Raum von anderen Mannigfaltigkeiten dreier Dimensionen unterscheidet. Wir können, wie Sie alle aus alltäglicher Erfahrung wissen, im Raume den Abstand zweier über einander gelegener Punkte vergleichen mit dem horizontalen Abstande zweier Punkte des Fussbodens, weil wir einen Maassstab bald an das eine, bald an das andere Paar anlegen können. Aber wir können nicht den Abstand zweier Töne von gleicher Höhe und verschiedener Intensität vergleichen mit dem zweier Töne von gleicher Intensität und verschiedener Höhe. Riemann zeigte durch Betrachtungen dieser Art, dass die wesentliche Grundlage jeder Geometrie der Ausdruck sei, durch welchen die Entfernung zweier in beliebiger Richtung von einander liegender Punkte, und zwar zunächst zweier unendlich wenig von einander entfernten, gegeben wird. Für diesen Ausdruck nahm er aus der analytischen Geometrie die allgemeinste Form[3]), welche derselbe erhält, wenn man die Art der Abmessungen, durch welche der Ort jedes Punktes gegeben wird, ganz beliebig lässt. Er zeigte dann, dass diejenige Art der Bewegungsfreiheit bei unveränderter Form, welche den Körpern in unserem Raume zukommt, nur bestehen kann, wenn gewisse, aus der Rechnung hervorgehende Grössen[4]), die bezogen auf die Verhältnisse an Flächen sich auf das Gauss'sche Maass der Flächenkrümmung reduciren, überall den gleichen Werth haben. Eben deshalb nennt Riemann diese Rechnungsgrössen, wenn sie für eine bestimmte Stelle nach allen Richtungen hin denselben Werth haben, das Krümmungsmaass des betreffenden Raumes an

---

[1]) Siehe Bd. I., S. 274.

[2]) Siehe Bd. I., S. 101.

[3]) Nämlich für das Quadrat des Abstandes zweier unendlich naher Punkte eine homogene Function zweiten Grades der Differentiale ihrer Coordinaten.

[4]) Es ist ein algebraïscher Ausdruck, zusammengesetzt aus den Coëfficienten der einzelnen Glieder in dem Ausdruck für das Quadrat der Entfernung zweier benachbarter Punkte und deren Differentialquotienten.

Digitized by Google

dieser Stelle. Um Missverständnisse abzuwehren[1]), will ich hier nur noch hervorheben, dass dieses sogenannte Krümmungsmaass des Raums eine auf rein analytischem Wege gefundene Rechnungsgrösse ist, und dass seine Einführung keineswegs auf einer Unterschiebung von Verhältnissen, die nur in der sinnlichen Anschauung Sinn hätten, beruht. Der Name ist nur als kurze Bezeichnung eines verwickelten Verhältnisses von dem einen Falle hergenommen, wo der bezeichneten Grösse eine sinnliche Anschauung entspricht.

Wenn nun dieses Krümmungsmaass des Raumes überall den Werth Null hat, entspricht ein solcher Raum überall den Axiomen des Euklides. Wir können ihn in diesem Falle einen ebenen Raum nennen, im Gegensatz zu anderen analytisch construirbaren Räumen, die man gekrümmte nennen könnte, weil ihr Krümmungsmaass einen von Null verschiedenen Werth hat. Indessen lässt sich die analytische Geometrie für Räume der letzteren Art ebenso vollständig und in sich consequent durchführen, wie die gewöhnliche Geometrie unseres thatsächlich bestehenden ebenen Raumes.

Ist das Krümmungsmaass positiv, so erhalten wir den sphärischen Raum, in welchem die geradesten Linien in sich zurücklaufen, und in welchem es keine Parallelen giebt. Ein solcher Raum wäre wie die Oberfläche einer Kugel unbegrenzt, aber nicht unendlich gross. Ein negatives constantes Krümmungsmaass dagegen giebt den pseudosphärischen Raum, in welchem die geradesten Linien in das Unendliche auslaufen, und in jeder ebensten Fläche durch jeden Punkt ein Bündel von geradesten Linien zu legen ist, die eine gegebene andere geradeste Linie jener Fläche nicht schneiden.

Diese letzteren Verhältnisse hat Herr Beltrami[2]) dadurch der Anschauung zugänglich gemacht, dass er zeigte, wie man die Punkte, Linien und Flächen eines pseudosphärischen Raumes von drei Dimensionen im Innern einer Kugel des Euklides'schen Raumes so abbilden kann, dass jede geradeste Linie des pseudosphärischen Raumes in der Kugel durch eine gerade Linie vertreten wird, jede ebenste Fläche des ersteren durch eine Ebene in der letzteren. Die Kugeloberfläche selbst entspricht dabei den unendlich entfernten Punkten des pseudosphärischen Raumes; die verschiedenen Theile desselben sind in ihrem Kugelabbild um so mehr

---

1) Wie ein solches z. B. in dem oben citirten Buche von Herrn W. Tobias begangen ist. S. 70 u. a. m.

2) Teoria fondamentale degli Spazii di Curvatura costante. Annali di Matematica. Ser. II, Tom. II, Fasc. III, p. 232—255.

Digitized by Google

verkleinert, je näher sie der Kugeloberfläche liegen und zwar in der Richtung der Kugelradien stärker als in den Richtungen senkrecht darauf. Gerade Linien in der Kugel, die sich erst ausserhalb der Kugeloberfläche schneiden, entsprechen geradesten Linien des pseudosphärischen Raumes, die sich nirgends schneiden.

Somit zeigte sich, dass der Raum, als Gebiet messbarer Grössen betrachtet, keineswegs dem allgemeinsten Begriffe einer Mannigfaltigkeit von drei Dimensionen entspricht, sondern noch besondere Bestimmungen erhält, welche bedingt sind durch die vollkommen freie Beweglichkeit der festen Körper mit unveränderter Form nach allen Orten hin und bei allen möglichen Richtungsänderungen, und ferner durch den besonderen Werth des Krümmungsmaasses, welches für den thatsächlich vorliegenden Raum gleich Null zu setzen ist, oder sich wenigstens in seinem Werthe nicht merklich von Null unterscheidet. Diese letztere Festsetzung ist in den Axiomen von den geraden Linien und von den Parallelen gegeben.

Während Riemann von den allgemeinsten Grundfragen der analytischen Geometrie her dieses neue Gebiet betrat, war ich selbst theils durch Untersuchungen über die räumliche Darstellung des Systems der Farben, also durch Vergleichung einer dreifach ausgedehnten Mannigfaltigkeit mit einer anderen, theils durch Untersuchungen über den Ursprung unseres Augenmaasses für Abmessungen des Gesichtsfeldes zu ähnlichen Betrachtungen, wie Riemann, gekommen. Während dieser von dem oben erwähnten algebraïschen Ausdrucke, welcher die Entfernung zweier einander unendlich naher Punkte in allgemeinster Form darstellt, als seiner Grundannahme ausgeht, und daraus die Sätze über Beweglichkeit fester Raumgebilde herleitet, bin ich andererseits von der Thatsache der Beobachtung ausgegangen, dass in unserem Raume die Bewegung fester Raumgebilde mit demjenigen Grade von Freiheit möglich ist, den wir kennen, und habe aus dieser Thatsache die Nothwendigkeit jenes algebraïschen Ausdrucks hergeleitet, den Riemann als Axiom hinstellt. Die Annahmen, welche ich der Rechnung zu Grunde legen musste, waren die folgenden.

Zuerst, um überhaupt rechnende Behandlung möglich zu machen, muss vorausgesetzt werden, dass die Lage jedes Punktes A gegen gewisse als unveränderlich und fest betrachtete Raumgebilde durch Messungen von irgend welchen Raumgrössen, seien es Linien, oder Winkel zwischen Linien, oder Winkel zwischen Flächen u. s w., bestimmt werden könne. Bekanntlich nennt man die zur Bestimmung der Lage des Punktes A nöthigen Abmessungen

Digitized by Google

seine **Coordinaten.** Die Anzahl der im Allgemeinen zur vollständigen Bestimmung der Lage eines jeden Punktes nöthigen Coordinaten bestimmt die Anzahl der Dimensionen des betreffenden Raumes. Es wird weiter vorausgesetzt, dass bei Bewegung des Punktes A sich die als Coordinaten gebrauchten Raumgrössen continuirlich verändern.

Zweitens ist die Definition eines festen Körpers, beziehlich festen Punktsystems zu geben, wie sie nöthig ist, um Vergleichung von Raumgrössen durch Congruenz vornehmen zu können. Da wir hier noch keine speciellen Methoden zur Messung der Raumgrössen voraussetzen dürfen, so kann die Definition eines festen Körpers nur erst durch folgendes Merkmal gegeben werden: Zwischen den Coordinaten je zweier Punkte, die einem festen Körper angehören, muss eine Gleichung bestehen, die eine bei jeder Bewegung des Körpers unveränderte Raumbeziehung zwischen den beiden Punkten (welche sich schliesslich als ihre Entfernung ergiebt) ausspricht, und welche für congruente Punktpaare die gleiche ist. Congruent aber sind solche Punktpaare, die nach einander mit demselben im Raume festen Punktpaare zusammenfallen können.

Trotz ihrer anscheinend so unbestimmten Fassung ist diese Bestimmung äusserst folgenreich, weil bei Vermehrung der Punktzahl die Anzahl der Gleichungen viel schneller wächst, als die Zahl der durch sie bestimmten Coordinaten der Punkte. Fünf Punkte, A, B, C, D, E, geben zehn verschiedene Punktpaare:

$$\begin{array}{llll} AB, & AC, & AD, & AE, \\ & BC, & BD, & BE, \\ & & CD, & CE, \\ & & & DE, \end{array}$$

also zehn Gleichungen, die im Raume von drei Dimensionen fünfzehn veränderliche Coordinaten enthalten, von denen aber sechs frei verfügbar bleiben müssen, wenn das System der fünf Punkte frei beweglich und drehbar sein soll. Es dürfen also nur neun Coordinaten durch jene zehn Gleichungen bestimmt werden, als abhängig von jenen sechs veränderlichen. Bei sechs Punkten bekommen wir fünfzehn Gleichungen für zwölf veränderliche Grössen, bei 7 Punkten 21 Gleichungen für 15 Grössen u. s. w. Nun können wir aber aus n von einander unabhängigen Gleichungen n darin vorkommende Grössen bestimmen. Haben wir mehr als n Gleichungen, so müssen die überzähligen selbst herzuleiten sein aus den n ersten derselben. Daraus folgt, dass jene Gleichungen, welche zwi-

Digitized by Google

schen den Coordinaten jedes Punktpaares eines festen Körpers bestehen, von besonderer Art sein müssen, so dass, wenn sie im Raume von drei Dimensionen für neun aus je fünf Punkten gebildete Punktpaare erfüllt sind, aus ihnen die Gleichung für das zehnte Paar identisch folgt. Auf diesem Umstande beruht es, dass die genannte Annahme für die Definition der Festigkeit doch genügt, um die Art der Gleichungen zu bestimmen, welche zwischen den Coordinaten zweier fest mit einander verbundener Punkte bestehen.

Drittens ergab sich, dass noch eine besondere Eigenthümlichkeit der Bewegung fester Körper der Rechnung als Thatsache zu Grunde gelegt werden musste, eine Eigenthümlichkeit, welche uns so geläufig ist, dass wir ohne diese Untersuchung vielleicht nie darauf gefallen wären, sie als etwas zu betrachten, was auch nicht sein könnte. Wenn wir nämlich in unserem Raume von drei Dimensionen zwei Punkte eines festen Körpers festhalten, so kann er nur noch Drehungen um deren gerade Verbindungslinie als Drehungsaxe machen. Drehen wir ihn einmal ganz um, so kommt er genau wieder in die Lage, in der er sich zuerst befunden hatte. Dass nun Drehung ohne Umkehr jeden festen Körper immer wieder in seine Anfangslage zurückführt, muss besonders erwähnt werden. Es wäre eine Geometrie möglich, wo es nicht so wäre. Am einfachsten ist dies für die Geometrie der Ebene einzusehen. Man denke sich, dass bei jeder Drehung jeder ebenen Figur ihre linearen Dimensionen dem Drehungswinkel proportional wüchsen, so würde nach einer ganzen Drehung um 360 Grad die Figur nicht mehr ihrem Anfangszustande congruent sein. Uebrigens würde ihr aber jede zweite Figur, die ihr in der Anfangslage congruent war, auch in der zweiten Lage congruent gemacht werden können, wenn auch die zweite Figur um 360 Grad gedreht wird. Es würde ein consequentes System der Geometrie auch unter dieser Annahme möglich sein, welches nicht unter die Riemann'sche Form fällt.

Andererseits habe ich gezeigt, dass die aufgezählten drei Annahmen zusammengenommen ausreichend sind, um den von Riemann angenommenen Ausgangspunkt der Untersuchung zu begründen, und damit auch alle weiteren Ergebnisse von dessen Arbeit, die sich auf den Unterschied der verschiedenen Räume nach ihrem Krümmungsmaass beziehen.

Es liesse sich nun noch fragen, ob auch die Gesetze der Bewegung und ihrer Abhängigkeit von den bewegenden Kräften ohne Widerspruch auf die sphärischen oder pseudosphärischen Räume übertragen werden können. Diese Untersuchung ist von Herrn

Digitized by Google

Professor Lipschitz[1]) in Bonn durchgeführt worden. Es lässt sich in der That der zusammenfassende Ausdruck aller Gesetze der Dynamik, das Hamilton'sche Princip, direct auf Räume, deren Krümmungsmaass nicht gleich Null ist, übertragen. Also auch nach dieser Seite hin verfallen die abweichenden Systeme der Geometrie in keinen Widerspruch.

Wir werden nun weiter zu fragen haben, wo diese besonderen Bestimmungen herkommen, welche unseren Raum als ebenen Raum charakterisiren, da dieselben, wie sich gezeigt hat, nicht in dem allgemeinen Begriffe einer ausgedehnten Grösse von drei Dimensionen und freier Beweglichkeit der in ihr enthaltenen begrenzten Gebilde enthalten sind. Denknothwendigkeiten, die aus dem Begriffe einer solchen Mannigfaltigkeit und ihrer Messbarkeit, oder aus dem aller allgemeinsten Begriffe eines festen in ihr enthaltenen Gebildes und seiner freiesten Beweglichkeit herfliessen, sind sie nicht.

Wir wollen nun die entgegengesetzte Annahme, die sich über ihren Ursprung machen lässt, untersuchen, die Frage nämlich, ob sie empirischen Ursprungs seien, ob sie aus Erfahrungsthatsachen abzuleiten, durch solche zu erweisen, beziehlich zu prüfen und vielleicht auch zu widerlegen seien. Die letztere Eventualität würde dann auch einschliessen, dass wir uns Reihen beobachtbarer Erfahrungsthatsachen müssten vorstellen können, durch welche ein anderer Werth des Krümmungsmaasses angezeigt würde, als derjenige ist, den der ebene Raum des Euklides hat. Wenn aber Räume anderer Art in dem angegebenen Sinne vorstellbar sind, so wäre damit auch widerlegt, dass die Axiome der Geometrie nothwendige Folgen einer a priori gegebenen transcendentalen Form unserer Anschauungen im Kant'schen Sinne seien.

Der Unterschied der Euklidischen, sphärischen und pseudosphärischen Geometrie beruht, wie oben bemerkt, auf dem Werthe einer gewissen Constante, welche Riemann das Krümmungsmaass des betreffenden Raumes nennt, und deren Werth gleich Null sein muss, wenn die Axiome des Euklides gelten. Ist sie nicht gleich Null, so würden Dreiecke von grossem Flächeninhalte eine andere Winkelsumme haben müssen, als kleine, erstere im sphärischen Raume eine grössere, im pseudosphärischen eine kleinere. Ferner ist geometrische Aehnlichkeit grosser und kleiner Körper oder

---

[1]) Untersuchungen über die ganzen homogenen Functionen von n Differentialen. Borchardt's Journal für Mathematik, Bd. LXX, S. 71 und Bd. LXXII, S. 1. — Untersuchung eines Problems der Variationsrechnung, ebendas., Bd. LXXIV.

Digitized by Google

Figuren nur möglich im Euklidischen Raume. Alle Systeme praktisch ausgeführter geometrischer Messungen, bei denen die drei Winkel grosser geradliniger Dreiecke einzeln gemessen worden sind, also auch namentlich alle Systeme astronomischer Messungen, welche die Parallaxe der unmessbar weit entfernten Fixsterne gleich Null ergeben (im pseudosphärischen Raum müssten auch die unendlich entfernten Punkte positive Parallaxe haben), bestätigen empirisch das Axiom von den Parallelen, und zeigen, dass in unserem Raume und bei Anwendung unserer Messungsmethoden das Krümmungsmaass des Raumes als von Null ununterscheidbar erscheint. Freilich muss mit Riemann die Frage aufgeworfen werden, ob das sich nicht vielleicht anders verhalten würde, wenn wir statt unserer begrenzten Standlinien, deren grösste die grosse Axe der Erdbahn ist, grössere benutzen könnten.

Aber wir dürfen dabei nicht vergessen, dass alle geometrischen Messungen schliesslich auf dem Principe der Congruenz beruhen. Wir messen Entfernungen von Punkten, indem wir den Zirkel oder den Maassstab oder die Messkette zu ihnen hinbewegen. Wir messen Winkel, indem wir den getheilten Kreis oder den Theodolithen an den Scheitel des Winkels bringen. Daneben bestimmen wir gerade Linien auch durch den unserer Erfahrung nach geradlinigen Gang der Lichtstrahlen; aber dass das Licht sich längs kürzester Linien ausbreitet, so lange es in einem ungeänderten brechenden Medium bleibt, würde sich ebenso auch auf Räume von anderem Krümmungsmaass übertragen lassen. Alle unsere geometrischen Messungen beruhen also auf der Voraussetzung, dass unsere von uns für fest gehaltenen Messwerkzeuge wirklich Körper von unveränderlicher Form sind, oder dass sie wenigstens keine anderen Arten von Formveränderung erleiden, als diejenigen, die wir an ihnen kennen, wie z. B. die von geänderter Temperatur, oder von der bei geänderter Stellung anders wirkenden Schwere herrührenden kleinen Dehnungen.

Wenn wir messen, so führen wir nur mit den besten und zuverlässigsten uns bekannten Hilfsmitteln dasselbe aus, was wir sonst durch Beobachtung nach dem Augenmaass, dem Tastsinn, oder durch Abschreiten zu ermitteln pflegen. In den letzteren Fällen ist unser eigener Körper mit seinen Organen das Messwerkzeug, welches wir im Raume herumtragen. Bald ist die Hand, bald sind die Beine unser Zirkel, oder das nach allen Richtungen sich wendende Auge der Theodolith, mit dem wir Bogenlängen oder Flächenwinkel im Gesichtsfelde abmessen.

Digitized by Google

Jede Grössen vergleichende, sei es Schätzung, sei es Messung räumlicher Verhältnisse geht also von einer Voraussetzung über das physikalische Verhalten gewisser Naturkörper aus, sei es unseres eigenen Leibes, sei es der angewendeten Messinstrumente, welche Voraussetzung übrigens den höchsten Grad von Wahrscheinlichkeit haben und mit allen uns sonst bekannten physikalischen Verhältnissen in der besten Uebereinstimmung stehen mag, aber jedenfalls über das Gebiet der reinen Raumanschauungen hinausgreift.

Ja, es lässt sich ein bestimmtes Verhalten der uns als fest erscheinenden Körper angeben, bei welchem die Messungen im Euklidischen Raume so ausfallen würden, als wären sie im pseudosphärischen oder sphärischen Raume angestellt. Um dies einzusehen, erinnere ich zunächst daran, dass, wenn die sämmtlichen linearen Dimensionen der uns umgebenden Körper und die unseres eigenen Leibes mit ihnen in gleichem Verhältnisse, z. B. alle auf die Hälfte, verkleinert oder alle auf das Doppelte vergrössert würden, wir eine solche Aenderung durch unsere Mittel der Raumanschauung gar nicht würden bemerken können. Dasselbe würde aber auch der Fall sein, wenn die Dehnung oder Zusammenziehung nach verschiedenen Richtungen hin verschieden wäre, vorausgesetzt, dass unser eigener Leib in derselben Weise sich veränderte, und vorausgesetzt ferner, dass ein Körper, der sich drehte, in jedem Augenblick ohne mechanischen Widerstand zu erleiden oder auszuüben denjenigen Grad der Dehnung seiner verschiedenen Dimensionen annähme, der seiner zeitigen Lage entspricht. Man denke an das Abbild der Welt in einem Convexspiegel. Die bekannten versilberten Kugeln, welche in Gärten aufgestellt zu werden pflegen, zeigen die wesentlichen Erscheinungen eines solchen Bildes, wenn auch gestört durch einige optische Unregelmässigkeiten. Ein gut gearbeiteter Convexspiegel von nicht zu grosser Oeffnung zeigt das Spiegelbild jedes vor ihm liegenden Gegenstandes scheinbar körperlich und in bestimmter Lage und Entfernung hinter seiner Fläche. Aber die Bilder des fernen Horizontes und der Sonne am Himmel liegen in begrenzter Entfernung, welche der Brennweite des Spiegels gleich ist, hinter dem Spiegel. Zwischen diesen Bildern und der Oberfläche des Spiegels sind die Bilder aller anderen vor letzterem liegenden Objecte enthalten, aber so, dass die Bilder um so mehr verkleinert und um so mehr abgeplattet sind, je ferner ihre Objecte vom Spiegel liegen. Die Abplattung, das heisst die Verkleinerung der Tiefendimension, ist verhältnissmässig bedeutender als die Verkleinerung der Flächendimensionen. Dennoch wird

Digitized by Google

jede gerade Linie der Aussenwelt durch eine gerade Linie im Bilde, jede Ebene durch eine Ebene dargestellt. Das Bild eines Mannes, der mit einem Maassstab eine von dem Spiegel sich entfernende gerade Linie abmisst, würde immer mehr zusammenschrumpfen, je mehr das Original sich entfernt, aber mit seinem ebenfalls zusammenschrumpfenden Maassstab würde der Mann im Bilde genau dieselbe Zahl von Centimetern herauszählen, wie der Mann in der Wirklichkeit; überhaupt würden alle geometrischen Messungen, von Linien oder Winkeln mit den gesetzmässig veränderlichen Spiegelbildern der wirklichen Instrumente ausgeführt, genau dieselben Resultate ergeben wie die in der Aussenwelt, alle Congruenzen würden in den Bildern bei wirklicher Aneinanderlagerung der betreffenden Körper ebenso passen wie in der Aussenwelt, alle Visirlinien der Aussenwelt durch gerade Visirlinien im Spiegel ersetzt sein. Kurz, ich sehe nicht, wie die Männer im Spiegel herausbringen sollten, dass ihre Körper nicht feste Körper seien und ihre Erfahrungen gute Beispiele für die Richtigkeit der Axiome des Euklides. Könnten sie aber hinausschauen in unsere Welt, wie wir hineinschauen in die ihrige, ohne die Grenze überschreiten zu können, so würden sie unsere Welt für das Bild eines Convexspiegels erklären müssen und von uns gerade so reden, wie wir von ihnen, und wenn sich die Männer beider Welten mit einander besprechen könnten, so würde, soweit ich sehe, keiner den anderen überzeugen können, dass er die wahren Verhältnisse habe, der andere die verzerrten; ja ich kann nicht erkennen, dass eine solche Frage überhaupt einen Sinn hätte, so lange wir keine mechanischen Betrachtungen einmischen.

Nun ist Herrn Beltrami's Abbildung des pseudosphärischen Raumes in einer Vollkugel des Euklidischen Raumes von ganz ähnlicher Art, nur dass die Fläche des Hintergrundes nicht eine Ebene, wie bei dem Convexspiegel, sondern eine Kugelfläche ist, und das Verhältniss, in welchem sich die der Kugelfläche näher kommenden Bilder zusammenziehen, einen anderen mathematischen Ausdruck[1]) hat. Denkt man sich also umgekehrt, dass in der Kugel, für deren Innenraum die Axiome des Euklides gelten, sich Körper bewegen, die, wenn sie sich vom Mittelpunkte entfernen, sich jedesmal zusammenziehen, ähnlich den Bildern im Convexspiegel, und zwar sich in der Weise zusammenziehen, dass ihre im pseudosphärischen Raum construirten Abbilder unveränderte Di-

[1]) Siehe den Zusatz am Ende dieser Vorlesung.

Digitized by Google

mensionen behalten, so würden Beobachter, deren Leiber selbst dieser Veränderung regelmässig unterworfen wären, bei geometrischen Messungen, wie sie sie ausführen könnten, Ergebnisse erhalten, als lebten sie selbst im pseudosphärischen Raume.

Wir können von hier aus sogar noch einen Schritt weiter gehen; wir können daraus ableiten, wie einem Beobachter, dessen Augenmaass und Raumerfahrungen sich gleich den unserigen im ebenen Raume ausgebildet haben, die Gegenstände einer pseudosphärischen Welt erscheinen würden, falls er in eine solche eintreten könnte. Ein solcher Beobachter würde die Linien der Lichtstrahlen oder die Visirlinien seines Auges fortfahren als gerade Linien anzusehen, wie solche im ebenen Raume vorkommen, und wie sie in dem kugeligen Abbild des pseudosphärischen Raumes wirklich sind. Das Gesichtsbild der Objecte im pseudosphärischen Raume würde ihm deshalb denselben Eindruck machen, als befände er sich im Mittelpunkte des Beltrami'schen Kugelbildes. Er würde die entferntesten Gegenstände dieses Raumes in endlicher Entfernung[1] rings um sich zu erblicken glauben, nehmen wir beispielsweise an, in hundert Fuss Abstand. Ginge er aber auf diese entfernten Gegenstände zu, so würden sie sich vor ihm dehnen, und zwar noch mehr nach der Tiefe, als nach der Fläche; hinter ihm aber würden sie sich zusammenziehen. Er würde erkennen, dass er nach dem Augenmaass falsch geurtheilt hat. Sähe er zwei gerade Linien, die sich nach seiner Schätzung miteinander parallel bis auf diese Entfernung von 100 Fuss, wo ihm die Welt abgeschlossen erscheint, hinausziehen, so würde er, ihnen nachgehend, erkennen, dass sie bei dieser Dehnung der Gegenstände, denen er sich nähert, aus einander rücken, je mehr er an ihnen vorschreitet; hinter ihm dagegen würde ihr Abstand zu schwinden scheinen, so dass sie ihm beim Vorschreiten immer mehr divergent und immer entfernter von einander erscheinen würden. Zwei gerade Linien aber, die vom ersten Standpunkte aus nach einem und demselben Punkte des Hintergrundes in hundert Fuss Entfernung zu convergiren scheinen, würden dies immer thun, so weit er ginge und er würde ihren Schnittpunkt nie erreichen.

Nun können wir ganz ähnliche Bilder unserer wirklichen Welt erhalten, wenn wir eine grosse Convexlinse von entsprechender negativer Brennweite vor die Augen nehmen, oder auch nur zwei convexe Brillengläser, die etwas prismatisch geschliffen sein müss-

[1]) Das reciproke, negative Quadrat dieser Entfernung wäre das Krümmungsmaass des pseudosphärischen Raumes.

Digitized by Google

ten, als wären sie Stücke aus einer zusammenhängenden grösseren Linse. Solche zeigen uns ebenso, wie die oben erwähnten Convexspiegel, die fernen Gegenstände genähert, die fernsten bis zur Entfernung des Brennpunktes der Linse. Wenn wir mit einer solchen Linse vor den Augen herumgehen, gehen ganz ähnliche Dehnungen der Gegenstände vor, auf die wir zugehen, wie ich sie für den pseudosphärischen Raum beschrieben habe. Wenn nun Jemand eine solche Linse vor die Augen nimmt, nicht einmal von hundert Fuss, sondern eine viel stärkere von nur sechzig Zoll Brennweite, so merkt er im ersten Augenblicke vielleicht, dass er die Gegenstände genähert sieht. Aber nach wenigem Hin- und Hergehen schwindet die Täuschung, und er beurtheilt trotz der falschen Bilder die Entfernungen richtig. Wir haben allen Grund zu vermuthen, dass es uns im pseudosphärischen Raume bald genug ebenso gehen würde, wie es bei einem angehenden Brillenträger nach wenigen Stunden schon der Fall ist; kurz der pseudosphärische Raum würde uns verhältnissmässig gar nicht sehr fremdartig erscheinen, wir würden uns nur in der ersten Zeit bei der Abmessung der Grösse und Entfernung fernerer Gegenstände nach ihrem Gesichtseindruck Täuschungen unterworfen finden.

Die entgegengesetzten Täuschungen würde ein sphärischer Raum von drei Dimensionen mit sich bringen, wenn wir mit dem im Euklidischen Raume erworbenen Augenmaasse in ihn eintreten. Wir würden entferntere Gegenstände für entfernter und grösser halten, als sie sind; wir würden auf sie zugehend finden, dass wir sie schneller erreichen, als wir nach dem Gesichtsbilde annehmen mussten. Wir würden aber auch Gegenstände vor uns sehen, die wir nur mit divergirenden Gesichtslinien fixiren können; dies würde bei allen denjenigen der Fall sein, welche von uns weiter als ein Quadrant eines grössten Kreises entfernt sind. Diese Art des Anblicks würde uns kaum sehr ungewöhnlich vorkommen, denn wir können denselben auch für irdische Gegenstände hervorbringen, wenn wir vor das eine Auge ein schwach prismatisches Glas nehmen, dessen dickere Seite zur Nase gekehrt ist. Auch dann müssen wir die Augen divergent stellen, um entfernte Gegenstände zu fixiren. Das erregt ein gewisses Gefühl ungewohnter Anstrengung in den Augen, ändert aber nicht merklich den Anblick der so gesehenen Gegenstände. Den seltsamsten Theil des Anblicks der sphärischen Welt würde aber unser eigener Hinterkopf bilden, in dem alle unsere Gesichtslinien wieder zusammenlaufen würden, so weit sie zwischen anderen Gegenständen frei durchgehen können, und

Digitized by Google

welcher den äussersten Hintergrund des ganzen perspectivischen Bildes ausfüllen müsste.

Dabei ist freilich noch weiter zu bemerken, dass, wie eine kleine ebene elastische Scheibe, etwa eine kleine ebene Kautschukplatte, einer schwach gewölbten Kugelfläche nur unter relativer Contraction ihres Randes und Dehnung ihrer Mitte angepasst werden kann, so auch unser im Euklidischen ebenen Raum gewachsener Körper nicht in einen gekrümmten Raum übergehen könnte ohne ähnliche Dehnungen und Zusammenpressungen seiner Theile zu erleiden, deren Zusammenhang natürlich nur so weit erhalten bleiben könnte, als die Elasticität der Theile ein Nachgeben ohne Reissen und Brechen erlaubte. Die Art der Dehnung würde dieselbe sein müssen, als wenn wir uns im Mittelpunkte von Beltrami's Kugel einen kleinen Körper dächten, und von diesem dann auf sein pseudosphärisches oder sphärisches Abbild übergingen. Damit ein solcher Uebergang als möglich erscheine, wird immer vorausgesetzt werden müssen, dass der übergehende Körper hinreichend elastisch und klein sei im Vergleich mit dem reellen oder imaginären Krümmungsradius des gekrümmten Raumes, in den er übergehen soll.

Es wird dies genügen um zu zeigen, wie man auf dem eingeschlagenen Wege aus den bekannten Gesetzen unserer sinnlichen Wahrnehmungen die Reihe der sinnlichen Eindrücke herleiten kann, welche eine sphärische oder pseudosphärische Welt uns geben würde, wenn sie existirte. Auch dabei treffen wir nirgends auf eine Unfolgerichtigkeit oder Unmöglichkeit, ebenso wenig wie in der rechnenden Behandlung der Maassverhältnisse. Wir können uns den Anblick einer pseudosphärischen Welt ebenso gut nach allen Richtungen hin ausmalen, wie wir ihren Begriff entwickeln können. Wir können deshalb auch nicht zugeben, dass die Axiome unserer Geometrie in der gegebenen Form unseres Anschauungsvermögens begründet wären, oder mit einer solchen irgendwie zusammenhingen.

Anders ist es mit den drei Dimensionen des Raumes. Da alle unsere Mittel sinnlicher Anschauung sich nur auf einen Raum von drei Dimensionen erstrecken, und die vierte Dimension nicht bloss eine Abänderung von Vorhandenem, sondern etwas vollkommen Neues wäre, so befinden wir uns schon wegen unserer körperlichen Organisation in der absoluten Unmöglichkeit, uns eine Anschauungsweise einer vierten Dimension vorzustellen.

Schliesslich möchte ich nun noch hervorheben, dass die geometrischen Axiome gar nicht Sätze sind, die nur der reinen Raum-

Digitized by Google

lehre angehörten. Sie sprechen, wie ich schon erwähnt habe, von Grössen. Von Grössen kann man nur reden, wenn man irgend welches Verfahren kennt und im Sinne hat, nach dem man diese Grössen vergleichen, in Theile zerlegen und messen kann. Alle Raummessung und daher überhaupt alle auf den Raum angewendeten Grössenbegriffe setzen also die Möglichkeit der Bewegung von Raumgebilden voraus, deren Form und Grösse man trotz der Bewegung für unveränderlich halten darf. Solche Raumformen pflegt man in der Geometrie allerdings nur als geometrische Körper, Flächen, Winkel, Linien zu bezeichnen, weil man von allen anderen Unterschieden physikalischer und chemischer Art, welche die Naturkörper zeigen, abstrahirt; aber man bewahrt doch die eine physikalische Eigenschaft derselben, die Festigkeit. Für die Festigkeit der Körper und Raumgebilde haben wir aber kein anderes Merkmal, als dass sie, zu jeder Zeit und an jedem Orte und nach jeder Drehung aneinandergelegt, immer wieder dieselben Congruenzen zeigen, wie vorher. Ob sich aber die aneinander gelegten Körper nicht selbst beide in gleichem Sinne verändert haben, können wir auf rein geometrischem Wege, ohne mechanische Betrachtungen hinzuzunehmen, gar nicht entscheiden.

Wenn wir es zu irgend einem Zwecke nützlich fänden, könnten wir in vollkommen folgerichtiger Weise den Raum, in welchem wir leben, als den scheinbaren Raum hinter einem Convexspiegel mit verkürztem und zusammengezogenem Hintergrunde betrachten; oder wir könnten eine abgegrenzte Kugel unseres Raumes, jenseits deren Grenzen wir nichts mehr wahrnehmen, als den unendlichen pseudosphärischen Raum betrachten. Wir müssten dann nur den Körpern, welche uns als fest erscheinen, und ebenso unserem eigenen Leibe gleichzeitig die entsprechenden Dehnungen und Verkürzungen zuschreiben, und würden allerdings das System unserer mechanischen Principien gleichzeitig gänzlich verändern müssen; denn schon der Satz, dass jeder bewegte Punkt, auf den keine Kraft wirkt, sich in gerader Linie mit unveränderter Geschwindigkeit fortbewegt, passt auf das Abbild der Welt im Convexspiegel nicht mehr. Die Bahnlinie wäre zwar noch gerade, aber die Geschwindigkeit abhängig vom Orte.

Die geometrischen Axiome sprechen also gar nicht über Verhältnisse des Raumes allein, sondern gleichzeitig auch über das mechanische Verhalten unserer festesten Körper bei Bewegungen. Man könnte freilich auch den Begriff des festen geometrischen Raumgebildes als einen transcendentalen Begriff auffassen, der un-

Digitized by Google

abhängig von wirklichen Erfahrungen gebildet wäre, und dem diese nicht nothwendig zu entsprechen brauchten, wie ja unsere Naturkörper thatsächlich ganz rein und ungestört nicht einmal denjenigen Begriffen entsprechen, die wir auf dem Wege der Induction von ihnen abstrahirt haben. Unter Hinzunahme eines solchen nur als Ideal concipirten Begriffs der Festigkeit könnte dann ein strenger Kantianer allerdings die geometrischen Axiome als a priori durch transcendentale Anschauung gegebene Sätze betrachten, die durch keine Erfahrung bestätigt oder widerlegt werden könnten, weil man erst nach ihnen zu entscheiden hätte, ob irgend welche Naturkörper als feste Körper zu betrachten seien. Dann müssten wir aber behaupten, dass unter dieser Auffassung die geometrischen Axiome gar keine synthetischen Sätze im Sinne Kant's wären. Denn sie würden dann nur etwas aussagen, was aus dem Begriffe der zur Messung nothwendigen festen geometrischen Gebilde analytisch folgen würde, da als feste Gebilde nur solche anerkannt werden könnten, die jenen Axiomen genügen.

Nehmen wir aber zu den geometrischen Axiomen noch Sätze hinzu, die sich auf die mechanischen Eigenschaften der Naturkörper beziehen, wenn auch nur den Satz von der Trägheit, oder den Satz, dass die mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Körper unter übrigens gleichbleibenden Einflüssen nicht vom Orte, wo sie sich befinden, abhängen können, dann erhält ein solches System von Sätzen einen wirklichen Inhalt, der durch Erfahrung bestätigt oder widerlegt werden, eben deshalb aber auch durch Erfahrung gewonnen werden kann.

Uebrigens ist es natürlich nicht meine Absicht, zu behaupten, dass die Menschheit erst durch sorgfältig ausgeführte Systeme genauer geometrischer Messungen Anschauungen des Raumes, die den Axiomen des Euklides entsprechen, gewonnen habe. Es musste vielmehr eine Reihe alltäglicher Erfahrungen, namentlich die Anschauung von der geometrischen Aehnlichkeit grosser und kleiner Körper, welche nur im ebenen Raume möglich ist, darauf führen jede geometrische Anschauung, die dieser Thatsache widersprach, als unmöglich zu verwerfen. Dazu war keine Erkenntniss des begrifflichen Zusammenhanges zwischen der beobachteten Thatsache geometrischer Aehnlichkeit und den Axiomen nöthig, sondern nur durch zahlreiche und genaue Beobachtungen von Raumverhältnissen gewonnene anschauliche Kenntniss ihres typischen Verhaltens, eine solche Art der Anschauung, wie sie der Künstler von den darzustellenden Gegenständen besitzt, und mittels deren er sicher

Digitized by Google

und fein entscheidet, ob eine versuchte neue Combination der Natur des darzustellenden Gegenstandes entspricht, oder nicht. Das wissen wir zwar in unserer Sprache auch mit keinem anderen Namen als dem der „Anschauung“ zu bezeichnen; aber es ist dies eine empirische durch Häufung und Verstärkung gleichartig wiederkehrender Eindrücke in unserem Gedächtniss gewonnene Kenntniss, keine transcendentale und vor aller Erfahrung gegebene Anschauungsform. Dass dergleichen empirisch erlangte und noch nicht zur Klarheit des bestimmt ausgesprochenen Begriffs durchgearbeitete Anschauungen eines typischen gesetzlichen Verhaltens häufig genug den Metaphysikern als a priori gegebene Sätze imponirt haben, brauche ich hier nicht weiter zu erörtern.

Digitized by Google

Zusatz.

Mathematische Erläuterungen.

Die Grundzüge der Geometrie der sphärischen Räume von drei Dimensionen erhält man am leichtesten, wenn man für den Raum von vier Dimensionen die der Kugel entsprechende Gleichung aufstellt:

$$x^2 + y^2 + z^2 + t^2 = R^2 \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

und für die Entfernung ds zwischen den Punkten $[x, y, z, t]$ und $[(x + dx), (y + dy), (z + dz), (t + dt)]$ den Werth

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + dt^2 \quad \ldots \ldots \quad 2)$$

Man überzeugt sich leicht mittels derselben Methoden, welche man für drei Dimensionen anwendet, dass kürzeste Linien gegeben sind durch Gleichungen von der Form

$$\left.\begin{array}{l} ax + by + cz + ft = 0 \\ \alpha x + \beta y + \gamma z + \varphi t = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

wo a, b, c, f ebenso wie $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$ Constanten sind.

Die Länge des kürzesten Bogens s zwischen den Punkten (x, y, z, t) und (ξ, η, ζ, τ) ergiebt sich, wie auf der Kugel, durch die Gleichung

$$\cos\left(\frac{s}{R}\right) = \frac{x\xi + y\eta + z\zeta + t\tau}{R^2} \quad \ldots \ldots \quad 4)$$

Aus den in 2) bis 4) gegebenen Werthen ist eine der Coordinaten durch die Gleichung 1) zu eliminiren, dann beziehen sich die Ausdrücke auf einen sphärischen Raum von drei Dimensionen.

Digitized by Google

Nimmt man die Entfernungen von dem Punkte

$$\xi = \eta = \zeta = 0,$$

woraus wegen der Gleichung 1) folgt $t = R$, so wird

$$sin\left(\frac{s_0}{R}\right) = \frac{\sigma}{R},$$

worin

$$\sigma = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

oder

$$s_0 = R \,.\, arc.\, sin.\left(\frac{\sigma}{R}\right) = R \,.\, arc.\, tang.\left(\frac{\sigma}{t}\right) \quad . \quad . \quad 5)$$

Hierin bezeichnet s_0 die vom Anfangspunkt der Coordinaten ab gemessene Entfernung des Punktes x, y, z.

Wenn wir nun den Punkt x, y, z des sphärischen Raumes uns abgebildet denken in dem Punkte eines ebenen Raumes, dessen Coordinaten beziehlich sind

$$\mathfrak{x} = \frac{Rx}{t},\ \mathfrak{y} = \frac{Ry}{t},\ \mathfrak{z} = \frac{Rz}{t},$$

$$\mathfrak{x}^2 + \mathfrak{y}^2 + \mathfrak{z}^2 = \mathfrak{r}^2 = \frac{R^2\,\sigma^2}{t^2},$$

so sind in diesem ebenen Raume die Gleichungen 3), welche kürzesten Linien des sphärischen Raumes angehören, Gleichungen gerader Linien. Es sind also die kürzesten Linien des sphärischen Raumes in dem System der $\mathfrak{x}$, $\mathfrak{y}$, $\mathfrak{z}$ durch gerade Linien abgebildet. Für sehr kleine Werthe von x, y, z wird $t = R$ und

$$\mathfrak{x} = x,\ \mathfrak{y} = y,\ \mathfrak{z} = z.$$

Unmittelbar um den Anfangspunkt der Coordinaten also fallen die Abmessungen beider Räume zusammen. Andererseits ergiebt sich für die Abstände vom Mittelpunkt

$$s_0 = R \,.\, arc.\, tang.\left(\pm\frac{\mathfrak{r}}{R}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

Es kann hierin $\mathfrak{r}$ unendlich werden, aber jeder Punkt des ebenen Raumes muss zwei Punkte der Kugel abbilden, einen, für den $s_0 < \frac{1}{2} R\pi$ ist, und einen, für den $s_0 > \frac{1}{2} R\pi$ ist. Die Dehnung in Richtung des $\mathfrak{r}$ ist dabei

$$\frac{ds_0}{d\mathfrak{r}} = \frac{R^2}{R^2 + \mathfrak{r}^2}.$$

Digitized by Google

Um die entsprechenden Ausdrücke für den pseudosphärischen Raum zu erhalten, setze man R und t imaginär, nämlich $R = \mathfrak{R} i$ und $t = \mathfrak{t} i$. Dann ergiebt Gleichung 6)

$$tang. \frac{s_0}{i\mathfrak{R}} = \pm \frac{\mathfrak{r}}{i\mathfrak{R}},$$

was nach Beseitigung der imaginären Form ergiebt

$$s_0 = \tfrac{1}{2} \mathfrak{R} \, log. nat. \left(\frac{\mathfrak{R} + \mathfrak{r}}{\mathfrak{R} - \mathfrak{r}}\right).$$

Hierin hat s_0 reelle Werthe nur so lange, als $\mathfrak{r} < \mathfrak{R}$, für $\mathfrak{r} = \mathfrak{R}$ wird die Entfernung s_0 im pseudosphärischen Raume unendlich gross. Das Bild im ebenen Raume ist dagegen nur in der Kugel vom Radius $\mathfrak{R}$ enthalten, und jeder Punkt dieser Kugel bildet nur einen Punkt des unendlichen pseudosphärischen Raumes ab. Die Dehnung in Richtung des $\mathfrak{r}$ ist

$$\frac{d s_0}{d \mathfrak{r}} = \frac{\mathfrak{R}^2}{\mathfrak{R}^2 - \mathfrak{r}^2}.$$

Für Linienelemente dagegen, deren Richtung senkrecht zu $\mathfrak{r}$ ist, für welche also t unverändert bleibt, wird in beiden Fällen

$$\frac{\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}}{\sqrt{d\mathfrak{x}^2 + d\mathfrak{y}^2 + d\mathfrak{z}^2}} = \frac{t}{R} = \frac{\mathfrak{t}}{\mathfrak{R}} = \frac{\sigma}{\mathfrak{r}}$$
$$= \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{\sqrt{\mathfrak{x}^2 + \mathfrak{y}^2 + \mathfrak{z}^2}}.$$

Digitized by Google

ZUM GEDÄCHTNISS

AN

GUSTAV MAGNUS.

Rede,

gehalten in der Leibnitzsitzung

der

Akademie der Wissenschaften zu Berlin

am

6. Juli 1871.

Digitized by Google

Es ist mir der ehrenvolle Auftrag geworden, im Namen dieser Akademie auszusprechen, was sie an Gustav Magnus verlor, der ihr dreissig Jahre lang angehörte. Als dankbarem Schüler, als Freund, endlich als dem Amtsnachfolger des Geschiedenen war es mir eine Freude, wie eine Pflicht, einer solchen Aufforderung nachzukommen. Aber ich finde den besten Theil meines Werkes bereits gethan durch unseren Collegen Hofmann im Auftrage der Deutschen chemischen Gesellschaft, deren Vorsitzender er ist. Er hat die Aufgabe von Magnus' Leben und Wirken ein Bild zu geben in eingehendster und liebevollster Weise gelöst. Er ist mir nicht nur der Zeit nach zuvorgekommen, sondern er hat zu dem Geschiedenen auch in viel engeren und häufigeren persönlichen Beziehungen gestanden, als ich; anderntheils ist er für eine Hauptseite von Magnus' Thätigkeit, nämlich die chemische, viel mehr als ich berechtigt, ein sachverständiges Urtheil abzugeben.

Dadurch beschränkt sich erheblich das, was für mich zu thun noch übrig bleibt. Ich werde kaum noch als Biograph von Magnus reden dürfen, sondern nur noch davon, was Magnus uns war, und davon, was er der Wissenschaft war, deren Vertretung die uns zugewiesene Aufgabe ist.

Auch war in der That sein Leben nicht gerade reich an äusseren Ereignissen und Wechselfällen; es war das friedliche Leben eines Mannes, der in sorgenfreien äusseren Verhältnissen, erst als Glied, dann als Leiter einer geachteten, begabten und liebenswürdigen Familie, seine Befriedigung in wissenschaftlicher Arbeit, in der Verwerthung wissenschaftlicher Ergebnisse zur Lehre und zum Nutzen der Menschen suchte und reichlich fand. Am 2. Mai 1802 wurde Heinrich Gustav Magnus zu Berlin geboren, als der vierte von sechs Brüdern, die sich nach mannigfachen Rich-

Digitized by Google

tungen hin durch ihre Fähigkeiten ausgezeichnet haben. Der Vater, Johann Matthias, war der Chef eines wohlhabenden Handlungshauses, und suchte seinen Kindern vor Allem eine freie Entwickelung ihrer individuellen Anlagen und Neigungen zu gewähren. Unser geschiedener Freund zeigte schon früh grössere Neigung zu mathematischen und naturwissenschaftlichen Studien, als zu sprachlichen. Der Vater regelte seinen Unterricht dem entsprechend, indem er ihn von dem Werder'schen Gymnasium wegnahm und an das Cauer'sche Privat-Institut sendete, in welchem den realistischen Fächern mehr Rechnung getragen wurde. Später von 1822 bis 1827 widmete sich Magnus an der Berliner Universität ganz dem naturwissenschaftlichen Studium. Ehe er seine ursprüngliche Absicht, sich für Technologie zu habilitiren, ausführte, wendete er noch zwei Jahre dazu an sich auf Reisen fortzubilden, vorzugsweise bei Berzelius längere Zeit in Stockholm verweilend, dann in Paris bei Dulong, Thénard, Gay-Lussac. Auf diese Weise ungewöhnlich gut und reich vorbereitet, habilitirte er sich 1831 an der hiesigen Universität zunächst für Technologie, später auch für Physik, wurde 1834 zum ausserordentlichen, 1845 zum ordentlichen Professor ernannt, und zeichnete sich durch seine wissenschaftlichen Arbeiten in dieser Zeit so aus, dass er schon neun Jahre nach seiner Habilitation, am 27. Januar 1840, zum Mitgliede dieser Akademie erwählt wurde. Von 1832 bis 1840 hat er auch an der Artillerie- und Ingenieurschule Physik gelehrt, von 1850 bis 1856 an dem Gewerbe-Institut chemische Technologie. Lange Zeit hielt er die Vorlesungen in seinem eigenen Hause mit seinen eigenen Instrumenten, die allmälig zu einer der stattlichsten physikalischen Sammlungen anwuchsen, wie sie zur Zeit existirten, und die später vom Staate für die Universität angekauft wurden. Dann verlegte auch Magnus seine Vorlesungen in das Universitätsgebäude, und behielt nur das Laboratorium für seine eigenen und die Arbeiten seiner Schüler im eigenen Hause.

So floss sein Leben in ruhiger aber unablässiger Wirksamkeit für seine Wissenschaft ungestört dahin; Reisen, bald für wissenschaftliche oder technische Studien, mehrere Male auch im Auftrage des Staats unternommen, bald der Erholung gewidmet, unterbrachen von Zeit zu Zeit seine hiesige Arbeit. Daneben wurde seine sachverständige Erfahrung und seine Geschäftskenntniss vom Staate in mancherlei Commissionen in Anspruch genommen; unter diesen ist namentlich seine Theilnahme an den chemischen Berathungen des Landes-Oekonomie-Collegiums zu erwähnen, denen

Digitized by Google

er grosses Interesse und viel von seiner Zeit widmete, vor Allem in Bezug auf die grossen praktischen Fragen der Agriculturchemie.

Nach 67 Jahren fast ungestörter Gesundheit verfiel er gegen Ende des Jahres 1869 in eine schmerzhafte Krankheit[1]). Bis zum 25. Februar 1870 hat er noch seine Vorlesungen über Physik fortgesetzt, im Laufe des März aber kaum mehr sein Lager verlassen können; am 4. April verschied er.

Magnus ist eine reich angelegte Natur gewesen, welche unter glücklichen äusseren Umständen sich nach ihrer Eigenart entwickeln und sich ihre Thätigkeit frei nach eigenem Sinne wählen durfte. Dieser Sinn aber war so beherrscht von Besonnenheit und erfüllt, ich möchte sagen, von künstlerischer Harmonie, die das Maasslose und Unreine scheute, dass er die Ziele seiner Arbeit weise zu wählen und deshalb auch fast immer zu erreichen wusste. Ebendarum stimmt auch die Richtung und die Art von Magnus' Thätigkeit mit seiner geistigen Eigenart so vollkommen zusammen, wie das bei nur wenigen Glücklichen unter den Sterblichen der Fall zu sein pflegt. Die harmonische Anlage und Ausbildung seines Geistes gab sich auch äusserlich in der natürlichen Anmuth seines Betragens, in der wohlthuenden Heiterkeit und Sicherheit seines Wesens, in der warmen Liebenswürdigkeit seines Verkehrs mit Anderen zu erkennen. Es lag in allem diesem viel mehr, als die blosse Erlernung der äusseren Formen der Höflichkeit jemals erreichen kann, wo sie nicht von warmer Theilnahme und feinem Gefühl für das Schöne durchleuchtet wird.

Von früh her gewöhnt an die geregelte und besonnene Thätigkeit des kaufmännischen Hauses, in dem er aufwuchs, behielt er von diesem die Gewandtheit in Geschäften, die er so oft in den Verwaltungsangelegenheiten dieser Akademie, der philosophischen Facultät und verschiedener staatlicher Commissionen zu bethätigen hatte. Er behielt von daher die saubere Ordnungsliebe, die Richtung auf die Wirklichkeit und das Praktisch-Erreichbare, wenn auch das Hauptziel seiner Thätigkeit ein ideales wurde. Er hatte begriffen, dass nicht der behagliche Genuss einer sorgenfreien Existenz und des Verkehrs in dem liebenswürdigsten Kreise von Angehörigen und Freunden eine dauernde Befriedigung giebt, sondern nur die Arbeit, und zwar nur die uneigennützige Arbeit für ein ideales Ziel. So arbeitete er, nicht für die Vermehrung seiner

---

[1]) Carcinoma Recti.

Digitized by Google

Reichthümer, sondern für die Wissenschaft; nicht dilettantisch und launisch, sondern nach einem festen Ziel und unermüdlich; nicht in Eitelkeit nach auffallenden Entdeckungen haschend, die seinen Namen hätten schnell berühmt machen können, sondern er wurde im Gegentheil ein Meister der treuen, geduldigen und bescheidenen Arbeit, welche ihr Werk immer wieder prüft und nicht eher davon ablässt, als bis sie nichts mehr daran zu bessern weiss. Solche Arbeit ist es aber auch, die durch die classische Vollendung ihrer Methode, durch die Genauigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Resultate den besten und dauerndsten Ruhm verdient und erringt. Meisterstücke mustergiltiger Vollendung sind unter den Arbeiten von Magnus namentlich die über die Ausdehnung der Gase durch die Wärme, und über die Spannkraft der Dämpfe. Ohne von Magnus zu wissen, arbeitete damals gleichzeitig mit ihm ein anderer Meister in solcher Arbeit, und zwar der erfahrensten und berühmtesten einer, nämlich Regnault in Paris, an den gleichen Aufgaben. Die Resultate beider Forscher wurden fast gleichzeitig veröffentlicht und zeigten durch ihre ausserordentlich nahe Uebereinstimmung, mit welcher Treue und mit welchem Geschick beide gearbeitet hatten. Wo aber noch Differenzen sich zeigten, wurden diese schliesslich zu Magnus' Gunsten entschieden.

In ganz besonders charakteristischer Weise aber zeigte sich die Reinheit und Uneigennützigkeit, mit der Magnus den idealen Zweck seines Strebens festhielt, in der Art und Weise, wie er jüngere Männer zu wissenschaftlichen Arbeiten heranzog, und sobald er bei ihnen Eifer und Fähigkeit für wissenschaftliche Arbeiten zu entdecken glaubte, ihnen seine Instrumente und die Hilfsmittel seines Privatlaboratoriums zur Verfügung stellte. Dies war die Art, wie ich selbst einst in nähere Beziehung zu ihm getreten bin, als ich mich zur Absolvirung der medicinischen Staatsprüfungen in Berlin befand. Er forderte mich damals auf — ich selbst würde nicht gewagt haben ihn darum zu bitten — meine Versuche über Gährung und Fäulniss noch nach neuen Richtungen hin auszudehnen und andere Methoden, die grössere Hilfsmittel erforderten, als ein junger von seinem Sold lebender Militärarzt sich verschaffen konnte, dazu anzuwenden. Ich habe damals etwa drei Monate bei ihm fast täglich gearbeitet und habe dadurch einen tiefen und bleibenden Eindruck von seiner Güte, seiner Uneigennützigkeit, seiner vollkommenen Freiheit von wissenschaftlicher Eifersucht gewonnen. Nicht allein, dass er durch ein sol-

Digitized by Google

ches Verfahren den äusserlichen Vortheil aufgab, den einem ehrgeizigen Manne der Besitz einer der reichsten Instrumentensammlungen vor allen Mitbewerbern gesichert haben würde; er nahm auch mit freundlichem Gleichmuth alle die kleinen Aergerlichkeiten und Belästigungen hin, welche die Ungeschicklichkeit und Hastigkeit jugendlicher Experimentatoren beim Gebrauche kostbarer und in peinlichster Sauberkeit gehaltener Instrumente mit sich bringt. Noch weniger war die Rede davon, dass er nach der Sitte der Gelehrten anderer Nationen die Arbeitskräfte der Jüngeren für seine eigenen Zwecke und zur Verherrlichung seines eigenen Namens ausgebeutet hätte. Chemische Laboratorien nach Liebig's Vorgang fingen damals an eingerichtet zu werden; von physikalischen, die übrigens sehr viel schwerer zu organisiren sind, bestand meines Wissens damals kein einziges. Ihre Gründung ist von Magnus in der That ausgegangen.

In diesem Verhältnisse besonders zeigt sich ein wesentlicher Theil von der inneren Richtung des Mannes, den wir bei der Beurtheilung seines Werthes nicht vernachlässigen dürfen; er war nicht nur ein Forscher, er war auch ein Lehrer der Wissenschaft, diesen Begriff im höchsten und weitesten Sinne genommen. Er wollte sie nicht in der Studirstube und im Hörsaale abgeschlossen wissen, er wollte, dass sie direct hinauswirke in alle Verhältnisse des Lebens; in seinem regen Interesse für die Technologie, in seiner eifrigen Theilnahme an den Arbeiten des Landes-Oekonomie-Collegiums spiegelt sich diese Seite seines Strebens deutlich ab, ebenso in der grossen Sorgfalt, die er auf die Vorbereitung der Vorlesungsversuche verwendete, wie in der sinnreichen Ausbildung des instrumentalen Apparats für diese Art von Versuchen. Hierfür ist die von ihm gegründete, später in den Besitz der Universität übergegangene und jetzt mir als seinem Nachfolger zur Benutzung überwiesene Sammlung seiner Instrumente der beredteste Zeuge. Alles ist in saubèrster Haltung und in vortrefflichster Leistungsfähigkeit; wo zu dem auszuführenden Versuche ein seidener Faden, eine Glasröhre oder ein Kork nöthig sind, kann man darauf rechnen, sie neben dem Instrumente zu finden. Alle von ihm herrührenden Apparate sind gebaut mit den besten Mitteln, die dazu herbeigeschafft werden konnten, ohne am Material oder an der Arbeit des Mechanikers zu sparen, so dass der Erfolg des Versuchs möglichst gesichert wird, und derselbe in nicht zu kleinem Maassstabe und möglichst weithin sichtbar in die Augen fällt.

Ich weiss mich aber auch sehr wohl noch des Erstaunens und

Digitized by Google

der Bewunderung zu erinnern, mit der wir, als Studenten, ihn experimentiren sahen. Nicht bloss, dass alle Experimente glänzend und vollständig gelangen, sondern sie störten und beschäftigten ihn scheinbar gar nicht in seinen Gedanken. Der ruhige und klare Fluss seiner Rede ging ohne Unterbrechung vorwärts; jeder Versuch trat an seiner Stelle ein, vollendete sich rasch, ohne Hast und ohne Stocken und wurde wieder verlassen.

Dass die kostbare Sammlung der Demonstrationsapparate noch während seines Lebens in den Besitz der Universität überging, habe ich schon erwähnt. Er wollte aber überhaupt nicht, dass, was er als Hilfsmittel wissenschaftlicher Arbeit gesammelt und construirt hatte, zerstreut und dem Zwecke entfremdet würde, dem er sein Leben gewidmet hatte. In diesem Sinne hat er denn auch den Rest der Apparate aus seinem Laboratorium, die eigentlichen Arbeitsinstrumente, sowie seine sehr reiche und werthvolle Bibliothek testamentarisch der Universität vermacht, und so einen kostbaren Grund zur weiteren Entwickelung eines öffentlichen physikalischen Instituts gelegt.

Es wird genügen, in diesen wenigen Zügen die geistige Individualität des geschiedenen Freundes zurückgerufen zu haben, so weit in ihnen die Quellen für die Richtung seiner Thätigkeit zu finden sind. Ein lebhafteres Bild wird Ihnen allen, die Sie dreissig Jahre mit ihm zusammenwirkten, die persönliche Erinnerung gewähren.

Wenn wir uns nun zur Besprechung der Ergebnisse und Erfolge seiner Arbeiten wenden, so genügt es dazu nicht, dass wir die Reihe seiner akademischen und wissenschaftlichen Schriften durchgehen und zu beurtheilen suchen. Ich habe schon hervorgehoben, dass ein hervorragender Theil seiner Wirksamkeit auf die Mitlebenden gerichtet war; und dazu kommt, dass sein Leben in eine Zeitperiode fällt, in welcher die Naturwissenschaften einen Entwickelungsprocess von einer solchen Schnelligkeit durchgemacht haben, wie ein ähnlicher in der Geschichte der Wissenschaften wohl in keinem anderen Falle vorgekommen ist. Die Männer aber, welche einer solchen Zeit angehören und an einer solchen Entwickelung mit gearbeitet haben, erscheinen ihren Nachfolgern, denen sie den Platz bereitet, leicht in falscher Perspective, weil der beste Theil ihrer Arbeit diesen schon als etwas fast Selbstverständliches erscheint, von dem zu sprechen kaum noch der Mühe lohnt.

Es wird uns jetzt schwer, uns zurückzuversetzen in den Zu-

Digitized by Google

stand der naturwissenschaftlichen Bildung, wie er in den ersten zwanzig Jahren dieses Jahrhunderts in Deutschland wenigstens bestand. Magnus wurde 1802 geboren, ich selbst 19 Jahre später; aber wenn ich auf meine frühesten Jugenderinnerungen zurückgreife, als ich aus den im Besitze meines Vaters, der selbst einst im Cauer'schen Institute unterrichtet hatte, befindlichen Lehrbüchern anfing Physik zu studiren, so taucht mir noch ein dunkles Bild eines Vorstellungskreises auf, der uns jetzt ganz mittelalterlich alchymistisch anmuthen würde. Von Lavoisier's und von H. Davy's umwälzenden Entdeckungen war noch nicht viel in die Schulbücher gedrungen. Obgleich man den Sauerstoff schon kannte, spielte daneben doch auch das Phlogiston, der Feuerstoff, seine Rolle. Das Chlor war noch die oxygenirte Salzsäure, das Kali und die Kalkerde waren noch Elemente. Die wirbellosen Thiere theilten sich noch in Insecten und Würmer, und in der Botanik zählte man Staubfäden.

Es ist seltsam zu sehen, wie spät und zögernd sich die Deutschen in unserem Jahrhundert dem Studium der Naturwissenschaften zugewendet haben, während sie doch an deren früherer Entwickelung hervorragenden Antheil genommen hatten. Ich brauche nur Copernicus, Kepler, Leibnitz, Stahl zu nennen.

Wir dürfen uns doch sonst einer leidenschaftlichen, rücksichtslosen und uneigennützigen Liebe zur Wahrheit rühmen, die vor keiner Autorität und vor keinem Scheine Halt macht, kein Opfer und keine Arbeit scheut und sehr genügsam in ihren Ansprüchen auf äusseren Erfolg ist. Aber eben deshalb treibt sie uns immer an, vor Allem die principiellen Fragen bis in ihre tiefsten Gründe zu verfolgen und uns wenig zu kümmern um das, was mit den letzten Gründen der Dinge keinen deutlichen Zusammenhang hat, namentlich auch wenig um die praktischen Consequenzen und die nützlichen Anwendungen. Dazu kam aber wohl noch ein äusserer Grund, nämlich der, dass die selbständige geistige Entwickelung der letzten drei Jahrhunderte unter politischen Zuständen begann, die das Hauptgewicht auf die theologischen Studien fallen liessen. Deutschland hat Europa von der Zwingherrschaft der alten Kirche befreit; aber es hat auch einen viel theureren Preis für diese Befreiung zahlen müssen, als die anderen Nationen. Es blieb nach den Religionskriegen zurück, verwüstet, verarmt, politisch zerbrochen, an seinen Grenzen beschädigt, wehrlos übermüthig gewordenen Nachbarn preisgegeben. Um die Consequenzen der

Digitized by Google

neuen sittlichen Anschauungen zu ziehen, sie wissenschaftlich zu prüfen, in alle Gebiete des Geisteslebens hinein durchzuarbeiten, dazu war während der Stürme des Krieges keine Zeit gewesen; da musste jeder zu seiner Partei halten, jeder Anfang von Meinungsverschiedenheit erschien als Verrath und erregte bittern Zorn. Das geistige Leben hatte durch die Reformation seinen alten Halt und seinen alten Zusammenhang verloren, alles musste in neuem Lichte erscheinen und neue Fragen aufregen. Mit äusserlicher Uniformität konnte sich der deutsche Geist nicht beruhigen; wo er nicht überzeugt und befriedigt war, liess er seine Zweifel nicht schweigen. So war es die Theologie, neben ihr die classische Philologie und die Philosophie, welche theils als Hilfswissenschaften der Theologie, theils durch das, was sie selbst für die Lösung der neu auftauchenden sittlichen, ästhetischen und metaphysischen Probleme leisten konnten, das Interesse der wissenschaftlich Gebildeten fast ausschliesslich in Anspruch nahmen. Deshalb erklärt es sich wohl, dass die protestantischen Nationen, sowie der Theil der Katholiken, welcher, in seinem alten Glauben wankend gemacht, nur äusserlich bei seiner Kirche blieb, sich mit verzehrendem Eifer auf die Philosophie stürzten. Man hatte ja hauptsächlich ethische und metaphysische Probleme zu lösen; auch die Kritik der Erkenntnissquellen musste vorgenommen werden, und sie wurde es mit viel tieferem Ernst als früher. Ich brauche an die wirklichen Resultate, die das vorige Jahrhundert aus dieser Arbeit gewann, hier nicht zu erinnern. Sie erregten schwungvolle Hoffnungen, und die Metaphysik hat, wie sich nicht leugnen lässt, eine gefährliche Anziehung für den deutschen Geist; er konnte nicht eher von ihr wieder ablassen, als bis er alle ihre Schlupfwinkel durchsucht und sich überzeugt hatte, dass dort für jetzt nichts mehr zu finden sei.

Daneben fing in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts das verjüngte geistige Leben der Nation an seine künstlerischen Blüthen zu treiben, die unbeholfene Sprache bildete sich zu einem der ausdruckvollsten Werkzeuge des menschlichen Geistes um; aus den meist noch harten, ärmlichen und unerquicklichen bürgerlichen und politischen Zuständen, den Folgen der Religionskriege, in welche die Gestalt des preussischen Heldenkönigs nur eben die erste Hoffnung einer besseren Zukunft geworfen, denen dann freilich wieder das Elend der Napoleonischen Kriege gefolgt war, aus dieser freudlosen Existenz flüchteten sich alle empfindsamen Gemüther gern in das Blüthenland, welches die deutsche

Digitized by Google

Poesie, mit den Besten aller Zeiten und Völker wetteifernd, aufschloss, oder in die erhabenen Aussichten der Philosophie; man suchte die Wirklichkeit durch Vergessen zu überwinden.

Und die Naturwissenschaften lagen auf der Seite dieser gern übersehenen Wirklichkeit. Nur die Astronomie konnte schon damals grosse und erhabene Ausblicke bieten; in allen anderen Zweigen war noch lange und geduldige Arbeit nöthig, ehe sie zu grossen Principien aufsteigen, ehe sie mitsprechen konnten in den grossen Problemen des menschlichen Lebens, oder ehe sie das gewaltige Mittel der Herrschaft des Menschen über die Naturmächte wurden, welches sie seitdem geworden sind. Die Arbeit des Naturforschers erschien eng, niedrig, gleichgiltig neben den grossen Conceptionen der Philosophen und Dichter; höchstens solche Naturforscher, welche, wie Oken, sich in philosophisch-dichterischer Anschauungsform bewegten, fanden williges Gehör.

Fern sei es von mir in einseitiger Betonung der naturwissenschaftlichen Interessen diese Zeit begeisterten Rausches schelten zu wollen; in der That verdanken wir ihr die sittliche Kraft, welche das Napoleonische Joch brach, wir verdanken ihr die grossen Dichtungen, welche der edelste Schatz unserer Nation sind; aber die Wirklichkeit behält ihr Recht gegen jeden Schein, auch gegen den schönsten, und Individuen wie Nationen, welche zur Mannesreife sich entwickeln wollen, müssen lernen der Wirklichkeit in das Gesicht zu schauen, um die Wirklichkeit unter die Zwecke des Geistes zu beugen. Sich in eine ideale Welt flüchten, ist eine falsche Hilfe von kurzdauerndem Erfolge, sie erleichtert nur den Gegnern ihr Spiel; und wenn das Wissen immer nur sich selbst spiegelt, so wird es gegenstandslos und leer, oder löst sich in Illusionen und Phrasen auf.

Die Reaction gegen die Verirrungen einer Geistesrichtung, die anfangs dem natürlichen Schwung eines jugendfrischen Anlaufs entsprach, dann aber im Epigonenzeitalter der romantischen Schule und der Identitätsphilosophie in sentimentales Haschen nach Erhabenheit und Begeisterung verfiel, ist, wie wir Alle wissen, eingetreten und durchgeführt worden, nicht bloss im Gebiete der Naturwissenschaften, sondern auch im Kreise der Geschichte, der Kunstwissenschaft, der Sprachforschung. Auch in den letztgenannten Gebieten, wo man mit Thätigkeitsäusserungen des menschlichen Geistes direct zu thun hat, und wo deshalb eine Construction a priori aus den psychologischen Gesetzen viel eher möglich erscheint als der Natur gegenüber, hat man begriffen, dass man

Digitized by Google

erst die Thatsachen kennen muss, ehe man ihre Gesetze aufstellen kann.

Gustav Magnus' Entwickelung fällt in die Zeit dieses Kampfes hinein; es lag in der ganzen Richtung seines Geistes, dass er, so sehr er sonst nach seiner milden Art Gegensätze zu versöhnen suchte, entschieden Partei ergriff, und zwar zu Gunsten der reinen Erfahrung gegen die Speculation. Wenn er auch vermied Personen zu verletzen, so muss man anerkennen, dass er von dem Princip, was er mit sicherem Tact als das Richtige erkannt hatte, nicht ein Jota nachliess; und er kämpfte an entscheidendster Stelle in doppeltem Sinne; einmal weil es sich in der Physik um die Grundlagen der ganzen Naturwissenschaft handelt, und dann, weil die zahlreich besuchte Universität Berlin die am längsten gehaltene Festung der Speculation war. Er predigte seinen Schülern fortdauernd, dass der Wirklichkeit gegenüber kein Raisonnement, und sähe es noch so plausibel aus, dass vielmehr nur die Beobachtung und der Versuch entscheidet; und er verlangte stets, dass jeder ausführbare Versuch, der eine thatsächliche Bestätigung oder Widerlegung eines hingestellten Gesetzes oder einer Erklärung geben könne, gemacht werde. Er selbst ging hierin mit dem besten Beispiele voran. Er beschränkte auch die Anwendbarkeit der ächten naturwissenschaftlichen Methode keineswegs auf die Erforschung der leblosen Natur, sondern er führte in seiner Arbeit über die Gase des Blutes (1837) einen Stoss bis in das Herz der vitalistischen Theorien; er führte die Physik bis in den Mittelpunkt des organischen Stoffwechsels ein, indem er den wissenschaftlichen Grund für die richtige Theorie der Athmung legte, einen Grund, auf dem eine grosse Anzahl späterer Forscher weiter gearbeitet haben, und auf dem sich eines der wichtigsten und folgenreichsten Capitel der Physiologie entwickelt hat.

Nicht zu wenig Entschiedenheit in der Durchführung seines Princips konnte man ihm vorwerfen; wohl aber muss ich gestehen, dass ich selbst und manche meiner Genossen früher der Meinung waren, dass Magnus sein Misstrauen gegen die Speculation namentlich in Bezug auf die mathematische Physik zu weit triebe. Er hatte sich in mathematisch-physikalische Studien wohl niemals sehr vertieft, und das bestärkte uns damals in unserem Zweifel. Dennoch, wenn wir uns von dem Standpunkte, den jetzt die Wissenschaft erreicht hat, umsehen, muss man anerkennen, dass auch sein Misstrauen gegen die damalige mathematische Physik nicht unbegründet war. Auch in ihr war noch nicht rein geschieden, was

Digitized by Google

erfahrungsmässige Thatsache, was blosse Wortdefinition und was nur Hypothese war. Das unklare Gemisch aus diesen Elementen, welches die Grundlagen der Rechnung bildete, suchte man für Axiome von metaphysischer Nothwendigkeit auszugeben und nahm eine ähnliche Art der Nothwendigkeit auch für die Folgerungen in Anspruch. Ich brauche nur daran zu erinnern, eine wie grosse Rolle in den mathematisch durchgeführten Theorien aus der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts die Hypothesen über den atomistischen Bau der Körper spielten, während man von den Atomen noch so gut wie nichts wusste, und zum Beispiel den ausserordentlich wichtigen Einfluss, den die Wärmebewegung auf die Molecularkräfte hat, noch kaum ahnte. Jetzt wissen wir zum Beispiel, dass das Ausdehnungsstreben der Gase nur auf der Wärmebewegung beruht; in jener Periode galt die Wärme noch bei weitem den meisten Physikern als ein imponderabler Stoff. Ueber die Atome in der theoretischen Physik sagt Sir W. Thomson sehr bezeichnend, dass ihre Annahme keine Eigenschaft der Körper erklären kann, die man nicht vorher den Atomen selbst beigelegt hat. Ich will mich, indem ich diesem Ausspruch beipflichte, hiermit keineswegs gegen die Existenz der Atome erklären, sondern nur gegen das Streben aus rein hypothetischen Annahmen über Atombau der Naturkörper die Grundlagen der theoretischen Physik herzuleiten. Wir wissen jetzt, dass manche von diesen Hypothesen, die ihrer Zeit viel Beifall fanden, weit bei der Wahrheit vorbeischossen. Auch die mathematische Physik hat einen andern Charakter angenommen unter den Händen von Gauss, von F. E. Neumann und ihren Schülern unter den Deutschen, sowie von denjenigen Mathematikern, die sich in England an Faraday anschlossen, Stokes, W. Thomson, Cl. Maxwell. Man hat begriffen, dass auch die mathematische Physik eine reine Erfahrungswissenschaft ist; dass sie keine anderen Principien zu befolgen hat, als die experimentelle Physik. Unmittelbar in der Erfahrung finden wir nur ausgedehnte mannigfach gestaltete und zusammengesetzte Körper vor uns; nur an solchen können wir unsere Beobachtungen und Versuche machen. Deren Wirkungen sind zusammengesetzt aus den Wirkungen, welche alle ihre Theile zu der Summe des Ganzen beitragen, und wenn wir also die einfachsten und allgemeinsten Wirkungsgesetze der in der Natur vorgefundenen Massen und Stoffe auf einander kennen lernen wollen, diese Gesetze namentlich befreien wollen von den Zufälligkeiten der Form, der Grösse und Lage der zusammenwirkenden Körper, so müssen wir

Digitized by Google

zurückgehen auf die Wirkungsgesetze der kleinsten Volumtheile, oder wie die Mathematiker es bezeichnen, der Volumelemente. Diese aber sind nicht, wie die Atome, disparat und verschiedenartig, sondern continuirlich und gleichartig.

Die charakteristischen Eigenschaften der Volumelemente verschiedener Körper sind auf dem Wege der Erfahrung zu finden, entweder direct, wo die Kenntniss der Summe genügt, um die Summanden zu finden, oder hypothetisch, wo dann die berechnete Summe der Wirkungen in möglichst verschiedenartigen Fällen durch Beobachtung und Versuch mit der Wirklichkeit verglichen werden muss. Somit ist anerkannt, dass die mathematische Physik nur die einfachen, von den Zufälligkeiten der Körperform befreiten Wirkungsgesetze der Körperelemente auf rein empirischem Wege zu suchen hat und der Controle der Erfahrung genau ebenso unterworfen ist, wie die sogenannte experimentelle Physik; ja dass beide principiell gar nicht geschieden sind und die erstere nur das Geschäft der letzteren fortsetzt, um immer einfachere und allgemeinere Gesetze der Erscheinungen zu entdecken.

Es ist unverkennbar, dass auch diese analysirende Richtung der physikalischen Forschung einen anderen Charakter angenommen hat, dass sie gerade das abgelegt hat, was Magnus zu ihr in einen, wenn auch meist nur leise angedeuteten inneren Widerspruch brachte. Er pflegte, wenigstens in früheren Jahren, darauf zu bestehen, dass das Geschäft des mathematischen und des experimentellen Physikers ganz von einander zu trennen sei; dass ein junger Mann, der Physik betreiben wolle, sich zwischen der einen und der andern Richtung zu entscheiden habe. Gegenwärtig scheint es mir, als wenn immer mehr und mit Recht die Ueberzeugung Boden gewönne, dass in dem entwickelteren Zustande der Wissenschaft nur derjenige fruchtbar experimentiren könne, der eine eindringende Kenntniss der Theorie hat und ihr gemäss die rechten Fragen zu stellen und zu verfolgen weiss; und andererseits, dass nur derjenige fruchtbar theoretisiren könne, der eine breite praktische Erfahrung im Experiment habe. Die Entdeckung der Spectralanalyse war eines der glänzendsten Beispiele einer solchen Durchdringung des theoretischen Verständnisses und der Experimentirkunst, was unserer Erinnerung noch ganz nahe liegt.

Ich weiss nicht, ob Magnus in späterer Zeit sich über das Verhältniss der experimentellen und mathematischen Physik anders als früher geäussert hat. Jedenfalls müssen auch die, welche seine

Digitized by Google

frühere Abwendung von der mathematischen Physik als eine etwas zu weit getriebene Reaction gegen den Missbrauch der Speculation auffassen möchten, anerkennen, dass ihm die ältere mathematische Physik wohl manchen Grund zu einer solchen Abwendung gab, und dass er andererseits mit der grössten Freudigkeit aufnahm, was Kirchhoff, W. Thomson und Andere aus theoretischen Ausgangspunkten von neuen Thatsachen entwickelt hatten. Es sei mir erlaubt, in dieser Beziehung hier mein eigenes persönliches Zeugniss abzulegen. Meine eigenen Arbeiten sind meist auf die Weise erwachsen, gegen welche Magnus Verwahrung einzulegen pflegte; dennoch habe ich bei ihm nie etwas anderes als die bereitwilligste und freundlichste Anerkennung gefunden.

Aber natürlich ist es, dass jeder, auf seine eigene Erfahrung gestützt, den Weg, der seiner eigenen Natur am besten entsprach, auf dem er selbst am schnellsten vorwärts gekommen ist, auch Anderen als den förderlichsten empfiehlt. Und wenn wir nur alle darüber einig sind, dass die Wissenschaft zur Aufgabe hat die Gesetze der Thatsachen zu finden, so kann man es jedem überlassen, je nach seiner Neigung sich entweder frisch in die Thatsachen zu stürzen und zu suchen, wo ihm die Spuren noch unbekannter Gesetze aufstossen mögen, oder aber von den schon bekannten Gesetzen her die Punkte aufzusuchen, wo neue Thatsachen zu entdecken sein werden. Aber ebenso gut, wie wir alle mit Magnus Widerspruch einlegen werden gegen den Theoretiker, der nicht für nöthig hält, die Folgerungen aus seinen ihm als Axiome erscheinenden Hypothesen an der Erfahrung zu prüfen, so würde sich Magnus — das zeigen seine Arbeiten entschieden — mit uns gegen diejenige Art des modernsten übertriebenen Empirismus erklären, welche darauf ausgeht, Thatsachen zu entdecken, die sich unter keine Regel sollen fügen lassen, und die es auch sorgfältig zu vermeiden pflegt, nach einem Gesetze oder möglichen Zusammenhange der etwa neu entdeckten Thatsachen zu suchen.

Zu erwähnen ist hier, dass genau in demselben Sinne und mit dem gleichen Zwecke in England ein anderer grosser Physiker, Faraday, wirkte, mit dem Magnus daher auch in dem herzlichsten Einvernehmen verbunden war. Bei Faraday sprach sich der Gegensatz gegen die bisherigen physikalischen Theorien, welche mit Atomen und in die Ferne wirkenden Kräften operiren, sogar noch schärfer aus als bei Magnus.

Digitized by Google

Wir müssen übrigens anerkennen, dass Magnus meist mit Erfolg auch da gearbeitet hat, wo er zu Aufgaben hingeführt wurde, die anscheinend überwiegend für eine mathematische Behandlung geeignet waren; so zum Beispiel in seiner Arbeit über die Abweichung der rotirenden Geschosse aus gezogenen Läufen; so in seiner Abhandlung über die Form der Wasserstrahlen und ihren Zerfall in Tropfen. In der ersteren hat er durch sehr geschickt angelegte Versuche nachgewiesen, wie der von der unteren Seite gegen die Kugel wirkende Luftwiderstand sie als rotirenden Körper nach einer Seite hin ablenken muss, — nach welcher, hängt von der Richtung der Rotation ab, — und wie in Folge dessen auch die Flugbahn in demselben Sinne abgelenkt wird. In der zweiten Abhandlung hat er die verschiedenen Formen der ausfliessenden Wasserstrahlen untersucht, wie sie theils durch die Form der Oeffnung, aus der sie fliessen, theils durch die Art des Zuflusses zu dieser verändert werden, und wie von aussen hinzukommende Erschütterungen ihr Zerfallen in Tropfen bedingen. Dabei hat er zur ruhigen Beobachtung der Erscheinungen eine sehr glückliche Anwendung vom Princip der stroboskopischen Scheiben gemacht, indem er den Strahl durch eine rotirende Scheibe mit schmalen Ausschnitten beobachtete. Mit eigenthümlicher Kunst gruppirt er die äusserst mannigfaltigen Erscheinungen, so dass das Aehnliche in ihnen übersichtlich heraustritt und eine die andere erläutert. Und wenn auch das letzte mechanische Verständniss nicht immer gewonnen wird, so wird doch der Grund für eine grosse Anzahl charakteristischer Züge der einzelnen Erscheinungen deutlich. In dieser Beziehung sind viele seiner Arbeiten — ich möchte hier namentlich gerade die über die ausfliessenden Wasserstrahlen rühmen — vortreffliche Muster für das, was Göthe theoretisch richtig forderte und in seinen physikalischen Arbeiten zu leisten trachtete, aber freilich nur mit theilweisem Erfolge.

Aber auch wo Magnus sich von seinem Standpunkte aus und mit den Kenntnissen seiner Zeit ausgerüstet vergebens abmüht den Kern der Lösung einer schwierigen Frage zu fassen, wird immer eine Fülle neuer werthvoller Thatsachen an das Licht gefördert. So in der Arbeit über die thermoelektrischen Ketten, wo er richtig sah, dass eine principielle Frage zu lösen war, und selbst am Schlusse erklärt: „Als ich die eben beschriebenen Versuche begann, hoffte ich zuversichtlich zu finden, dass die thermoelektrischen Ströme von einer Bewegung der Wärme

Digitized by Google

herrührten." In diesem Sinne prüfte er namentlich die Fälle, wo die thermoelektrische Kette aus einem einzigen Metalle bestand, welches aber abwechselnd harte und durch Wärme weich gemachte Abtheilungen darbot, oder dessen zur Berührung gebrachte Stücke sehr verschiedene Temperatur hatten. Er überzeugt sich, dass weder das Wärme-Ausstrahlungsvermögen noch die Leitungsfähigkeit für Wärme (diesen Begriff im gewöhnlichen Sinne genommen) den thermoelektrischen Strom bedingen, und muss sich schliesslich mit der ihn selbst offenbar nicht befriedigenden Erklärung beruhigen, dass sich zwei ungleich warme Stücke desselben Metalls wie zwei ungleichartige Leiter, die nach Art der Flüssigkeiten dem galvanischen Spannungsgesetze nicht folgen, zu einander verhalten. Erst die beiden allgemeinen Gesetze der mechanischen Wärmetheorie führten später zur Lösung. Magnus' Hoffnung war nicht falsch gewesen; W. Thomson erkannte, dass Aenderungen in der Leitungsgeschwindigkeit der Wärme, aber solche, die durch die elektrischen Ströme selbst erst hervorgebracht werden, die Quelle dieser Ströme sind.

Es liegt in der Natur der wissenschaftlichen Richtung, der Magnus in seinen Arbeiten folgte, dass sie viele Steine zu dem grossen Gebäude der Wissenschaft hinzuführt, die ihm immer breitere Stützung und immer höheren Wuchs geben, ohne dass nothwendig dem neu hinzutretenden Beschauer sogleich ein abgesonderter und sich auszeichnender Theil des Gebäudes als das alleinige Werk dieses oder jenes Forschers nachgewiesen werden könnte; und will man im Einzelnen erklären, wie wichtig jeder einzelne Stein an seiner Stelle ist, wie schwer er zu beschaffen war, wie sinnreich bearbeitet er ist, so muss man bei dem Hörer entweder die Kenntniss der ganzen Geschichte des Baues voraussetzen oder sie ihm erst auseinandersetzen, wozu mehr Zeit gebraucht wird, als ich heute und hier in Anspruch nehmen darf.

So ist es auch mit den Arbeiten von Magnus. Ueberall, wo er angegriffen hat, hat er eine Fülle neuer und oft überraschender Thatsachen hervorgeholt, er hat sie sorgfältig und zuverlässig beobachtet und in den Zusammenhang des grossen Baues der Wissenschaft eingefügt. Er hat ferner als einen für die Wissenschaft ebenso werthvollen Schatz eine grosse Zahl sinnreich erfundener und fein ausgebildeter neuer Methoden hinterlassen, als Instrumente, mit denen auch künftige Generationen

Digitized by Google

fortfahren werden, verborgene Adern edlen Metalls ewiger Gesetze in dem scheinbar wüsten und wilden Spiele des Zufalls aufzudecken. Magnus' Namen wird immer mit in erster Linie zu nennen sein, wenn die genannt werden, auf deren Arbeit der stolze Bau der Wissenschaft von der Natur beruht, dieser Wissenschaft, welche das Leben der modernen Menschheit so eingreifend umgestaltet hat, sowohl durch ihren geistigen Einfluss, wie durch die Unterwerfung der Naturkräfte unter die Zwecke des Geistes.

Ich habe nur von Magnus' physikalischen Arbeiten geredet und auch von diesen nur diejenigen genannt, welche mir charakteristisch für seine Individualität erschienen. Aber die Zahl seiner Arbeiten ist sehr gross und sie erstrecken sich über weitere Gebiete, als gegenwärtig noch von einem einzelnen Forscher umfasst werden können. Er fing als Chemiker an, bevorzugte aber damals schon Fälle, welche auffallende physikalische Verhältnisse zeigten; später wurde er ganz Physiker. Daneben her lief ein ausserordentlich ausgedehntes Studium der Technologie, wie es für sich allein schon ein Menschenleben auszufüllen im Stande wäre.

Er ist geschieden nach einem reichen Leben und einer reichen Thätigkeit. Das alte Gesetz, dass keines Menschen Leben frei von Schmerz sei, wird wohl auch ihn getroffen haben; und doch erscheint sein Leben als ein bevorzugt glückliches. Was die Menschen gewöhnlich am meisten beneiden, war ihm zugefallen; aber er wusste die äusseren Güter zu adeln, indem er sie in den Dienst eines uneigennützigen Zwecks stellte. Was dem Gemüthe eines edlen Menschen am theuersten ist, war ihm vergönnt, in der Mitte einer liebenswürdigen Familie, in einem Kreise treuer und bedeutender Freunde sich zu erwärmen. Als das seltenste Glück aber möchte ich es preisen, dass er in reiner Begeisterung für ein ideales Princip arbeiten durfte und dass er die Sache, der er diente, siegreich wachsen und sich entfalten sah zu ungeahntem Reichthum und zu breithin wirkendem Segen.

Und schliesslich müssen wir hinzufügen: soweit Besonnenheit, Reinheit der Absicht, sittlicher und intellectueller Tact, Bescheidenheit und echte Humanität die Launen des Glücks und der Menschen beherrschen können, so weit war Magnus selbst der Schmied seines Glücks; eine der seltenen befriedigenden und in sich befriedigten Naturen, denen die Liebe

Digitized by Google

und die Gunst der Menschen entgegenkommt, die mit sicherer Ahnung die rechte Stelle für ihre Thätigkeit zu finden wissen, und von denen man sagen möchte: der Neid des Schicksals verkümmert ihnen ihre Erfolge nicht, weil sie für reine Zwecke und mit reinen Wünschen arbeitend, auch ohne äussere Erfolge ihre Befriedigung finden würden.

Digitized by Google

ÜBER DIE

ENTSTEHUNG DES PLANETENSYSTEMS.

Vortrag,

gehalten in Heidelberg und Köln am Rhein

im

Jahre 1871.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

Ich habe die Absicht, heute vor Ihnen die vielbesprochene Kant-Laplace'sche Hypothese über die Bildung der Weltkörper, namentlich unseres Planetensystems, auseinander zu setzen. Die Wahl dieses Themas bedarf wohl einer Rechtfertigung. In populären Vorlesungen, wie die heutige eine ist, haben die Zuhörer das Recht von dem Vortragenden zu erwarten, dass er ihnen wohlgesicherte Thatsachen und fertige Ergebnisse der Forschung vorlege, nicht aber unreife Vermuthungen, Hypothesen oder Träume. Unter allen Gegenständen, denen menschliches Nachdenken und menschliche Phantasie sich zuwenden können, ist die Frage über den Ursprung der Welt vorzugsweise und seit urältester Zeit bei allen Nationen am meisten der Tummelplatz ausschweifendster Speculationen gewesen. Wohlthätige und zerstörende Göttergestalten, Giganten, Kronos, der seine Kinder frisst, Niflheim mit dem Eisriesen Ymer, den die himmlischen Asen tödten, um die Welt aus ihm zu bauen, sind Gestalten, wie sie die kosmogonischen Systeme der verhältnissmässig besonneneren Volksstämme bevölkern. Aber in der Allgemeinheit der Thatsache, dass jedes Volk sich seine kosmogonischen Ansichten ausgebildet und diese theilweise sehr in das Einzelne ausgemalt hat, spricht sich auch unverkennbar das von allen gefühlte Interesse aus zu wissen, woher ist unser Ursprung, woher der letzte Ursprung der Dinge, die uns umgeben? Und mit der Frage nach dem Anfange ist wiederum eng die nach dem Ende verknüpft; denn was entstehen konnte, kann auch vergehen. Diese Frage nach dem Ende hat vielleicht sogar noch grösseres praktisches Interesse als die nach dem Anfange.

Digitized by Google

Nun muss ich gleich von vornherein bemerken, dass auch die Theorie, die ich heute zu besprechen beabsichtige, zuerst aufgestellt wurde von einem Manne, dessen Name vorzugsweise als der des abstractesten philosophischen Denkers bekannt geworden ist, von dem Urheber des transscendentalen Idealismus und des kategorischen Imperativs, von Immanuel Kant. Die Schrift, in der er sie vortrug, die „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ (1755) ist eine seiner ersten Veröffentlichungen und rührt aus seinem 31. Lebensjahre her. Ueberblickt man die Schriften aus dieser ersten Periode seiner wissenschaftlichen Thätigkeit, die etwa bis zum 40. Jahre seines Alters dauerte, so findet man, dass dieselben grösstentheils naturwissenschaftlichen Inhalts sind und mit einer Anzahl der glücklichsten Gedanken ihrer Zeit weit vorauseilen, während die eigentlich philosophischen Arbeiten noch gering an Zahl, zum Theil, wie die Habilitationsschrift, direct durch äussere Veranlassung hervorgerufen, dabei verhältnissmässig unselbständig in ihrem positiven Inhalt, und nur bedeutend durch vernichtende, zum Theil spottende Kritik sind. Man kann nicht verkennen, dass der jugendliche Kant seiner Neigung und seiner Anlage nach vorzugsweise Naturforscher war und vielleicht nur durch die Macht der äusseren Verhältnisse, durch den Mangel der für selbständige naturwissenschaftliche Arbeit nöthigen Hilfsmittel und durch die Sinnesweise seiner Zeit an der Philosophie festgehalten wurde, in der er erst viel später zu selbständigen und bedeutenden Leistungen gelangte; denn die Kritik der reinen Vernunft fällt in sein 57. Jahr. Er hat übrigens auch in späteren Perioden seines Lebens zwischen seinen grossen philosophischen Werken einzelne naturwissenschaftliche Aufsätze geschrieben und regelmässig eine Vorlesung über physische Geographie gehalten, in welcher er zwar auf das enge Maass von Kenntnissen und Hilfsmitteln seiner Zeit und seines abgelegenen Wohnortes beschränkt blieb, aber doch mit grossem und verständigem Sinne ähnlich umfassenden Gesichtspunkten, wie später A. v. Humboldt, nachstrebte. Es ist geradezu eine Verkehrung des historischen Zusammenhanges, wenn Kant's Namen zuweilen gemissbraucht wird um zu empfehlen, dass die Naturwissenschaft die inductive Methode, durch welche sie gross geworden ist, wieder verlassen müsse, um zu den luftigen Speculationen einer angeblich „deductiven Methode“ zurückzukehren. Gegen solchen Missbrauch würde sich Niemand schärfer und schneidiger gewendet haben, als Kant selbst, wenn er noch unter uns weilte.

Digitized by Google

Ganz unabhängig von Kant, wie es scheint, ist dieselbe Hypothese über die Bildung unseres Planetensystemes ein zweites Mal von dem berühmtesten der französischen Astronomen, Pierre Simon Marquis de Laplace, gleichsam als das Schlussresultat seiner mit riesigem Fleisse und grossem mathematischen Scharfsinne durchgeführten vollständigen Bearbeitung der Mechanik unseres Systems aufgestellt worden. Sie sehen schon aus den Namen dieser beiden Männer, die wir als wohlerfahrene und wohlerprobte Führer auf unserem Wege treffen, dass wir bei einer von ihnen übereinstimmend aufgestellten Ansicht es nicht mit einer leichtfertigen Reise in das Blaue zu thun haben, sondern mit einem vorsichtigen und wohl überlegten Versuche, aus den bekannten Verhältnissen der Gegenwart Rückschlüsse auf die unbekannte Vergangenheit zu ziehen.

Es liegt nun in der Natur der Sache, dass eine Hypothese über den Ursprung des Theiles der Welt, den wir selbst bewohnen, und die also von Dingen der fernsten Vergangenheit redet, nicht durch directe Beobachtung verificirt werden kann; wohl aber kann sie mittelbare Bestätigungen erfahren, wenn beim Fortschritte der wissenschaftlichen Kenntnisse sich neue Thatsachen den früher bekannten anreihen und wie diese aus ihr ihre Erklärung empfangen, namentlich wenn sich Reste der für die Bildung der Weltkörper angenommenen Vorgänge auch noch in der Gegenwart nachweisen lassen. Dergleichen mittelbare Bestätigungen von mannigfacher Art haben sich in der That für die hier zu besprechende Ansicht gefunden, und das Gewicht ihrer Wahrscheinlichkeit ganz erheblich gesteigert.

Theils dieser Umstand, theils der andere, dass die genannte Hypothese in neuerer Zeit in populären und in wissenschaftlichen Büchern vielfältig in Verbindung mit philosophischen, ethischen, theologischen Fragen erwähnt worden ist, geben mir den Muth, heute hier davon zu reden. Ich beabsichtige dabei nicht sowohl Ihnen dem Inhalte nach wesentlich Neues zu berichten, als vielmehr zu versuchen Ihnen eine möglichst zusammenhängende Uebersicht der Gründe zu geben, die zu ihr geführt und sie befestigt haben.

Diese Entschuldigungen, welche ich vorausschicken musste, gelten übrigens nur dem Umstande, dass ich in einer populären Vorlesung ein Thema dieser Art behandle. Die Wissenschaft ist vollständig berechtigt und auch verpflichtet eine solche Untersuchung anzustellen. Für sie handelt es sich um eine ganz be-

Digitized by Google

stimmte und gewichtige Frage, die Frage nämlich nach der Existenz von Grenzen für die Tragweite der Naturgesetze, welche den Verlauf alles gegenwärtig Geschehenden beherrschen; ob diese auch in der Vorzeit von jeher gültig gewesen sein können, und ob sie es auch in der Zukunft immer werden sein können, oder ob bei Voraussetzung einer ewig gleichmässigen Gesetzmässigkeit der Natur unsere Rückschlüsse aus den gegenwärtigen Zuständen auf die der Vergangenheit und Zukunft uns nothwendig auf unmögliche Zustände und die Nothwendigkeit einer Durchbrechung der Naturgesetze, eines Anfanges, der nicht mehr durch die uns bekannten Vorgänge herbeigeführt sein könnte, zurückleiten. Die Anstellung einer solchen Untersuchung über die mögliche oder wahrscheinliche Vorgeschichte der jetzt bestehenden Welt ist also von Seiten der Wissenschaft keine müssige Speculation, sondern eine Frage über die Grenzen ihrer Methoden und die Tragweite der zur Zeit gefundenen Gesetze.

Vielleicht mag es vermessen erscheinen, dass wir, begrenzt wie wir sind, im Kreise unserer Beobachtungen, räumlich durch unseren Standpunkt auf der kleinen Erde, die nur ein Stäubchen in unserem Milchstrassensystem ist, zeitlich durch die Dauer der kurzen Menschengeschichte, es unternehmen die Gesetze, welche wir aus dem kleinen uns zugänglichen Bereich von Thatsachen herausgelesen haben, geltend zu machen für die ganze Ausdehnung des unermesslichen Raumes und der Zeit von Ewigkeit zu Ewigkeit. Aber all unser Denken und Thun im Grössten wie im Kleinsten ist gegründet auf das Vertrauen zu der unabänderlichen Gesetzmässigkeit der Natur, und dieses Vertrauen hat sich bisher desto mehr gerechtfertigt, je tiefer wir in den Zusammenhang der Naturerscheinungen eindrangen. Und für die Gültigkeit der von uns gefundenen allgemeinen Gesetze durch die weitesten Erstreckungen des Raumes hin hat uns das letzte halbe Jahrhundert wichtige thatsächliche Bestätigungen gebracht.

Voran unter diesen steht das Gesetz der Schwere. Die Himmelskörper schweben, wie Sie alle wissen, und bewegen sich in dem unermesslichen Raume. Verglichen mit den ungeheuren Entfernungen, die zwischen ihnen liegen, sind sie alle, auch die grössten unter ihnen, nur wie Stäubchen von Materie zu betrachten. Auch die uns nächsten Fixsterne erscheinen selbst in den stärksten Vergrösserungen ohne sichtbaren Durchmesser, und wir können sicher sein, dass auch unsere Sonne, von den nächsten Fixsternen aus gesehen, nicht anders als ein untheilbarer lichter Punkt erscheint,

Digitized by Google

da sich die Massen jener Sterne in den Fällen, wo es gelungen ist, sie zu bestimmen, als nicht sehr abweichend von der der Sonne ergeben haben. Trotz dieser ungeheuren Entfernungen aber besteht zwischen ihnen ein unsichtbares Band, welches sie aneinander fesselt und sie in gegenseitige Abhängigkeit bringt. Es ist dies die Gravitationskraft, mit der alle schweren Massen sich gegenseitig anziehen. Wir kennen diese Kraft aus unserer täglichen Erfahrung als Schwere, wenn sie zwischen einem irdischen Körper und der Masse unserer Erde wirksam wird. Die Kraft, welche einen Stein zu Boden fallen macht, ist keine andere als die, welche den Mond zwingt fortdauernd die Erde in ihrer Bahn um die Sonne zu begleiten, und keine andere als die, welche die Erde selbst verhindert in den weiten Raum hinaus zu fliehen und sich von der Sonne zu entfernen.

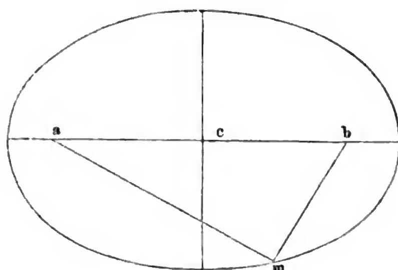
Sie können sich den Vorgang der Planetenbewegung an einem einfachen mechanischen Modell versinnlichen. Befestigen Sie möglichst hoch an einem Baumast oder an einem aus der Wand herausragenden festen Arme einen seidenen Faden, an dessen unteres Ende Sie, möglichst tief unten, einen kleinen schweren Körper, etwa eine Bleikugel, binden. Wenn Sie diese ruhig hängen lassen, so zieht sie den Faden vertical nach unten. Dies ist die Gleichgewichtslage der Kugel. Um dieselbe zu bezeichnen und dem Auge fortdauernd sichtbar zu machen, bringen Sie an diese Stelle, wo die Bleikugel im Gleichgewicht zu ruhen strebt, irgend einen feststehenden Körper, etwa einen Erdglobus auf Stativ. Die Bleikugel muss zu dem Ende bei Seite geschoben werden; aber sie legt sich nun dem Globus an, und wenn man sie von ihm fortzieht, so strebt sie wieder zu ihm hin, weil die Schwere sie gegen ihre im Innern des Globus befindliche Gleichgewichtslage hintreibt. Auf welcher Seite des Globus man die Kugel auch von ihm abziehen mag, immer geschieht dasselbe. Diese Kraft, welche die Bleikugel gegen den Globus treibt, vertritt in unserem Modell die Anziehung, welche die Erde gegen den Mond, oder die Sonne gegen die Planeten ausübt. Nachdem Sie sich von den beschriebenen Thatsachen überzeugt haben, versuchen Sie der Bleikugel in einigem Abstande vom Globus eine mässige Wurfbewegung nach der Seite zu geben. Haben Sie die Stärke des Wurfes richtig getroffen, so umschwebt die kleine Kugel in kreisförmiger Bahn die grosse und kann lange Zeit in dieser Bewegung beharren, gerade so, wie der Mond in seinem Umlaufe um die Erde, die Planeten in dem um die Sonne beharren. Nur werden allerdings in unserem

Digitized by Google

Modell die Kreise, welche die Bleikugel zieht, mit der Zeit immer enger und enger, weil wir widerstehende Kräfte, Luftwiderstand, Steifigkeit des Fadens, Reibung, nicht in dem Maasse ausschliessen können, wie sie in dem Planetensysteme ausgeschlossen sind.

Bei genau kreisförmiger Bahn um den anziehenden Mittelpunkt wirkt die anziehende Kraft auf Planeten oder Bleikugel natürlich immer in gleicher Stärke. Dann ist es gleichgültig, nach welchem Gesetz die Kraft ab- oder zunehmen würde in anderen Abständen vom Centrum, in welche der bewegte Körper ja gar nicht kommt. Ist aber der ursprüngliche Stoss nicht von richtiger Stärke gewesen, so werden in beiden Fällen die Bahnen nicht kreisförmig, sondern elliptisch von der Form der in Fig. 3 gezeichneten krummen Linie. Aber diese Ellipsen liegen in beiden Fällen verschieden gegen das anziehende Centrum. In unserem Modell wird die an-

Fig. 3.



ziehende Kraft desto stärker, je weiter wir die Bleikugel von ihrer Gleichgewichtslage entfernen. Die Ellipse der Bahn erhält unter diesen Umständen eine solche Lage gegen das anziehende Centrum, dass dieses in den Mittelpunkt c der Ellipse fällt. Für den Planeten wird im Gegentheil die anziehende Kraft desto schwächer, je weiter er sich von dem anziehenden Körper entfernt, und dies bewirkt, dass eine Ellipse beschrieben wird, deren einer Brennpunkt in das Anziehungscentrum fällt. Die beiden Brennpunkte a und b sind zwei symmetrisch gegen die Enden der Ellipse hin liegende Punkte, die durch die Eigenschaft ausgezeichnet sind, dass die Summe ihrer Abstände $am + bm$ für jeden beliebigen Punkt in der Ellipse die gleiche Grösse hat.

Dass die Planetenbahnen Ellipsen von solcher Art sind, hatte Kepler erkannt, und da, wie das eben angeführte Beispiel zeigt,

Digitized by Google

die Form und Lage der Bahn von dem Gesetze, nach welchem die Grösse der anziehenden Kraft sich ändert, abhängt, so konnte Newton aus der Form der Planetenbahnen das bekannte Gesetz der Gravitationskraft, welche die Planeten zur Sonne zieht, ableiten, wonach diese Kraft bei wachsender Entfernung in dem Maasse abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächst. Die irdische Schwere musste diesem Gesetze sich einfügen, und Newton hatte die bewundernswerthe Entsagung seine folgenschwere Entdeckung erst zu veröffentlichen, nachdem auch hierfür eine directe Bestätigung gelungen war, als sich nämlich aus den Beobachtungen nachweisen liess, dass die Kraft, welche den Mond gegen die Erde zieht, gerade in demjenigen Verhältniss zur Schwere eines irdischen Körpers steht, wie es das von ihm erkannte Gesetz forderte.

Im Laufe des 18. Jahrhunderts stiegen die Mittel der mathematischen Analyse und die Methoden der astronomischen Beobachtung so weit, dass alle die verwickelten Wechselwirkungen, welche zwischen allen Planeten und allen ihren Trabanten durch die gegenseitige Attraction jedes gegen jeden erzeugt werden, und welche die Astronomen als Störungen bezeichnen, — Störungen nämlich der einfachen elliptischen Bewegung um die Sonne, die jeder von ihnen machen würde, wenn die anderen nicht da wären —, dass alle diese Wechselwirkungen aus Newton's Gesetze theoretisch vorausbestimmt und mit den wirklichen Vorgängen am Himmel genau verglichen werden konnten. Die Ausbildung dieser Theorie der Planetenbewegungen bis in das Einzelnste war, wie schon erwähnt, hauptsächlich das Verdienst von Laplace. Die Uebereinstimmung zwischen der Theorie, die aus dem so einfachen Gesetze der Gravitationskraft entwickelt war, und den äusserst complicirten und mannigfaltigen Erscheinungen, die daraus folgten, war eine so vollständige und so genaue, wie sie bisher in keinem anderen Zweige menschlichen Wissens erreicht worden ist. Kühner geworden durch diese Uebereinstimmung schloss man bald, dass da, wo kleine Mängel derselben sich constant herausstellten, noch unbekannte Ursachen wirksam sein müssten. So wurde aus Abweichungen zwischen der wirklichen und der berechneten Bewegung des Uranus von Bessel die Vermuthung hergeleitet, dass ein weiterer Planet existire. Von Leverrier und Adams wurde der Ort dieses Planeten berechnet, und so der Neptun, der entfernteste der bis jetzt bekannten, gefunden.

Aber nicht bloss im Bereiche der Attractionskraft unserer Sonne zeigte sich das Gravitationsgesetz als wirksam; am Fixstern-

Digitized by Google

himmel erkannte man, dass auch Doppelsterne in elliptischen Bahnen um einander kreisen, dass auch zwischen ihnen dasselbe Gesetz der Gravitation wirksam sei, welches unser Planetensystem beherrscht. Von einzelnen derselben kennen wir die Entfernung. Der nächste von ihnen α im Sternbild des Centauren ist 226 000 Mal weiter von der Sonne entfernt, als die Erde. Das Licht, welches die ungeheure Strecke von 40 000 Meilen in der Secunde durchläuft, welches in 8 Minuten von der Sonne zur Erde gelangt, braucht 3 Jahre, um von α Centauri zu uns zu kommen. Die verfeinerten Messungsmethoden der neueren Astronomie haben es möglich gemacht Entfernungen von Sternen zu bestimmen, zu deren Durchmessung das Licht 35 Jahre braucht, wie zum Beispiel vom Polarstern: aber das Gravitationsgesetz zeigt sich, die Bewegungen von Doppelsternen beherrschend, auch noch in solchen Tiefen des Sternenhimmels, an deren Ausmessung bisher die uns zu Gebote stehenden Messungsmethoden gescheitert sind.

Auch hier hat die Kenntniss des Gravitationsgesetzes schon zur Entdeckung neuer Körper geführt, wie im Falle des Neptun. Peters in Altona fand in Bestätigung einer ebenfalls schon von Bessel ausgesprochenen Vermuthung, dass der Sirius, der glänzendste unserer Fixsterne, in elliptischer Bahn sich um ein unsichtbares Centrum bewege. Er musste einen dunkeln Begleiter haben; und in der That liess sich dieser nach Aufstellung des ausgezeichneten und mächtigen Fernrohres der Universität Cambridge in Nordamerika auch durch das Auge entdecken. Er ist nicht ganz dunkel, aber so lichtschwach, dass er nur durch die allervollkommensten Instrumente gesehen werden kann. Die Masse des Sirius ergiebt sich dabei gleich 13,76, die des Begleiters zu 6,71 Sonnenmassen, ihre gegenseitige Entfernung gleich 37 Erdbahnhalbmesser, also etwas grösser, als die Entfernung des Neptun von der Sonne.

Ein anderer Fixstern, der Procyon, ist im gleichen Falle, wie der Sirius, aber sein Begleiter ist noch nicht gesehen.

Sie sehen, dass wir in der Gravitation eine aller schweren Materie gemeinsame Eigenschaft entdeckt haben, die sich nicht auf die Körper unseres Systemes beschränkt, sondern so weit hinaus in die Himmelsräume sich zu erkennen giebt, als unsere Beobachtungsmittel bisher vordringen konnten.

Aber nicht nur diese allgemeine Eigenschaft aller Masse kommt den entferntesten Himmelskörpern wie den irdischen Körpern zu, sondern die Spectralanalyse hat uns gelehrt, dass eine grosse

Digitized by Google

Anzahl wohlbekannter irdischer Elemente in den Atmosphären der Fixsterne und selbst der Nebelflecke wiederkehren.

Sie wissen, dass eine feine helle Linie, durch ein Glasprisma betrachtet, als ein farbiger Streif, am einen Rande roth und gelb, am anderen blau und violett, in der Mitte grün erscheint. Man nennt ein solches farbiges Bild ein Farbenspectrum; der Regenbogen ist ein solches, durch Lichtbrechung, wenn auch nicht gerade durch ein Prisma, erzeugt; und er zeigt daher die Reihe der Farben, welche durch eine solche Zerlegung aus dem weissen Sonnenlicht ausgeschieden werden können. Die Erzeugung des prismatischen Spectrum beruht darauf, dass das Licht der Sonne und der meisten glühenden Körper aus verschiedenen Arten von Licht zusammengesetzt ist, welche unserem Auge verschieden farbig erscheinen, und welche bei der Brechung der Strahlen im Prisma von einander getrennt werden.

Macht man nun einen festen oder flüssigen Körper glühend heiss, so dass er leuchtet, so ist das Spectrum, welches sein Licht giebt, ähnlich dem Regenbogen, ein breiter farbiger Streifen ohne Unterbrechungen mit der bekannten Farbenreihe Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett und in keiner Weise charakteristisch für die Beschaffenheit des Körpers, der das Licht aussendet.

Anders verhält es sich, wenn ein glühendes Gas oder ein glühender Dampf, d. h. ein durch Wärme in gasförmigen Zustand gebrachter Stoff, das Licht aussendet. Dann besteht nämlich das Spectrum eines solchen Körpers aus einer oder einigen oder auch sehr vielen, aber durchaus getrennten hellen Linien, deren Ort und Gruppirung im Spectrum charakteristisch ist für die Substanzen, aus denen das Gas oder der Dampf besteht, so dass man durch die spectrale Analyse des Lichtes erkennen kann, welches die chemische Zusammensetzung des glühenden gasförmigen Körpers ist. Solche Gasspectra zeigen uns im Weltenraume viele Nebelflecke, und zwar Spectra, welche die hellen Linien glühenden Wasserstoffs und Stickstoffs zeigen und daneben meist noch eine Linie, die bisher in dem Spectrum keines irdischen Elementes wiedergefunden ist. Abgesehen von dem Nachweis zweier wohlbekannter irdischer Elemente war diese Entdeckung auch deshalb von grösster Wichtigkeit, weil sie es war, die den ersten unzweifelhaften Nachweis dafür gab, dass die kosmischen Nebel meistentheils keine Haufen feiner Sterne sind, sondern dass der grösste Theil ihres Lichtes wirklich von gasigen Körpern ausgesendet wird.

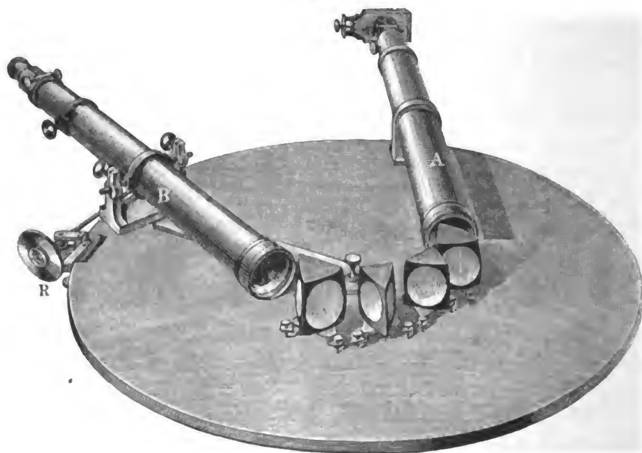
In anderer Weise erscheinen die Gasspectra, wenn das Gas

Digitized by Google

vor einem glühenden festen Körper liegt, dessen Temperatur viel höher ist, als die des Gases. Dann sieht der Beobachter das continuirliche Spectrum eines festen Körpers, dieses aber durchschnitten von feinen dunkeln Linien, die gerade an den Orten sichtbar werden, wo das Gas allein, vor dunklem Hintergrunde gesehen, helle Linien zeigen würde. Dass beide Erscheinungsweisen der Gasspectra sich nothwendig bedingen, hat Kirchhoff nachgewiesen. Man kann deshalb auch aus solchen dunkeln Linien im Spectrum erkennen, welche Gase sich vor dem glühenden Körper befinden. Von dieser Art ist nun das Spectrum der Sonne und das einer grossen Anzahl von Fixsternen. Die dunkeln Linien des Sonnenspectrums, von Wollaston entdeckt, sind von Fraunhofer zuerst genau untersucht und gemessen und deshalb unter dem Namen Fraunhofer'sche Linien bekannt geworden.

Später sind, und zwar zuerst von Kirchhoff, dann namentlich von Angström viel mächtigere Apparate angewendet worden, um die Zerlegung des Lichtes möglichst weit zu treiben. Fig. 4 stellt den

Fig. 4.



von Steinheil für Kirchhoff construirten Apparat mit vier Prismen dar. Am abgewendeten Ende des Fernrohres A befindet sich ein Schirm mit einem feinen Spalt, der die feine Lichtlinie bildet, durch die dargestellte kleine Schraube verengert und erweitert werden kann, und durch den man das zu untersuchende

Digitized by Google

Licht eintreten lässt. Es passirt dann das Fernrohr A, nachher die vier Prismen, endlich das Fernrohr B, und gelangt so zum Auge des Beobachters. In Fig. 5, 6, 7 sind kleine Stücke von Kirchhoff's Zeichnung des Sonnenspectrums nachgebildet, aus dem Grün,

Fig. 5.

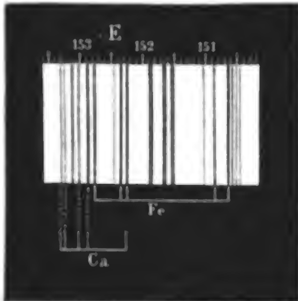
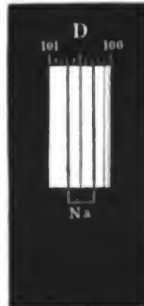
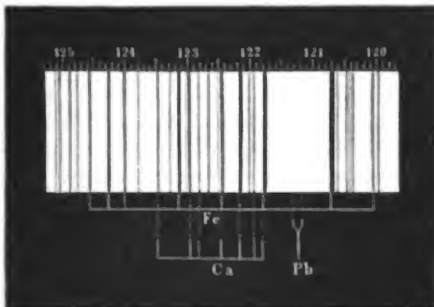


Fig. 6.



Gelb und Goldgelb, an denen unten durch die chemischen Zeichen Fe (Eisen), Ca (Metall des Kalks), Na (Metall des Natrons), Pb (Blei) und die zugesetzten Linien angezeigt ist, an welchen Stellen die

Fig. 7.



glühenden Dämpfe dieser Metalle, sei es in den Flammen, sei es im elektrischen Funken, helle Linien zeigen. Die darüber gesetzten Scalentheile lassen erkennen, wie weit diese Bruchstücke der über das ganze Sonnenspectrum ausgedehnten Kirchhoff'schen Zeich-

Digitized by Google

nung auseinander liegen. Schon hier bemerkt man überwiegend viele Eisenlinien. Im ganzen Spectrum fand Kirchhoff nicht weniger als 450.

Daraus folgt, dass die Atmosphäre der Sonne reichliche Dämpfe von Eisen enthält, was unter anderem einen Schluss auf die über alle Maassen hohe Temperatur ziehen lässt, welche dort herrschen muss. Ausserdem verräth sich in gleicher Weise, wie unsere Figuren 5, 6, 7 Eisen, Calcium, Natrium anzeigen, auch die Anwesenheit des Wasserstoffs, des Zinks, des Kupfers, der Metalle aus dem Magnesia, der Thonerde, der Baryterde und anderer irdischer Elemente. Dagegen fehlen Blei (s. Fig. 7 Pb.), Gold, Silber, Quecksilber, Zinn, Spiessglanz, Arsen und andere.

Die Spectra vieler Fixsterne sind ähnlich beschaffen, sie zeigen Systeme feiner Linien, die sich mit denen irdischer Elemente identificiren lassen. In der Atmosphäre des Aldebaran im Stier zeigt sich wiederum Wasserstoff, Eisen, Magnesia, Kalk, Natron, aber auch Quecksilber, Antimon, Wismuth, im α Orionis (Beteigeuze) nach H. C. Vogel das auf Erden seltene Thallium, und so weiter.

Noch können wir nicht sagen, dass wir alle Sternspectra gedeutet hätten; viele Fixsterne zeigen eigenthümlich gebänderte Spectra, die wahrscheinlich Gasen angehören, deren Molekeln nicht vollständig durch die hohe Temperatur in ihre elementaren Atome aufgelöst sind. Auch im Spectrum der Sonne finden sich viele Linien, die wir mit solchen irdischer Elemente noch nicht identificiren konnten. Möglich, dass sie von uns unbekannten Stoffen herrühren, möglich auch, dass sie durch die höhere, unseren irdischen Hilfsmitteln weit überlegene Temperatur der Sonne bedingt sind. Aber so viel steht schon fest, dass bekannte irdische Elemente durch den Weltraum weit verbreitet sind, vor allen der Stickstoff, der den grösseren Theil unserer Atmosphäre ausmacht, und der Wasserstoff, der Grundstoff des Wassers, welches durch Verbrennung aus ihm entsteht. Beide fanden sich in den eigentlichen unauflösbaren Nebelflecken, und diese müssen, wie aus der Unveränderlichkeit ihrer Gestalt zu schliessen ist, Gebilde von ungeheuren Dimensionen und ungeheurer Entfernung von uns sein. Schon W. Herschel betrachtete sie aus diesem Grunde als unserem Fixsternsysteme nicht angehörig, sondern als die Erscheinungsweise anderer Milchstrassensysteme.

Und Weiteres haben wir durch die Spectralanalyse über unsere Sonne erfahren, wodurch sie den uns bekannten Verhältnissen doch einigermaassen näher tritt, als es früher scheinen mochte.

Digitized by Google

Sie wissen, dass sie ein ungeheurer Ball, im Durchmesser 112 Mal grösser als die Erde ist. Was wir als ihre Oberfläche erblicken, dürfen wir als eine Schicht glühenden Nebels betrachten, welche, nach den Erscheinungen der Sonnenflecke zu schliessen, eine Tiefe von annähernd 100 Meilen hat. Diese Nebelschicht, welche nach aussen hin fortdauernd Wärme verliert, und also jedenfalls kühler ist als die inneren Massen der Sonne, ist dennoch heisser als alle unsere irdischen Flammen, heisser selbst als die glühenden Kohlenspitzen der elektrischen Lampe, welche das Maximum der durch irdische Hilfsmittel zu erreichenden Temperatur geben. Dies kann mit Sicherheit nach dem von Kirchhoff erwiesenen Gesetze für die Strahlung undurchsichtiger Körper aus der überlegenen Lichtintensität der Sonne geschlossen werden. Die ältere Annahme, wonach die Sonne ein dunkler kühler Körper, umgeben von einer nur nach aussen Wärme und Licht strahlenden Photosphäre sein sollte, enthält eine physikalische Unmöglichkeit.

Nach aussen von der undurchsichtigen Photosphäre erscheint rings um den Sonnenkörper eine Schicht durchsichtiger Gase, welche heiss genug sind, um im Spectrum helle farbige Linien zu zeigen, und deshalb als Chromosphäre bezeichnet werden. Sie zeigen die hellen Linien des Wasserstoffs, des Natrium, Magnesium, Eisen. In diesen Gas- und Nebelschichten der Sonne finden ungeheure Stürme statt, an Ausdehnung und Geschwindigkeit denen unserer Erde in ähnlichem Maasse überlegen, wie die Grösse der Sonne der der Erde. Ströme glühenden Wasserstoffs werden in Form von riesigen Springbrunnen oder züngelnden Flammen mit darüber schwebenden Rauchwolken viele tausend Meilen hoch emporgeblasen[1]). Früher konnte man diese Gebilde nur zur Zeit der totalen Sonnenfinsternisse als die sogenannten rosigen Protuberanzen der Sonne sehen. Jetzt ist durch die Herren Jansen und Lockyer eine Methode gefunden worden, um sie mit Hilfe des Spectroskopes alltäglich zu beobachten.

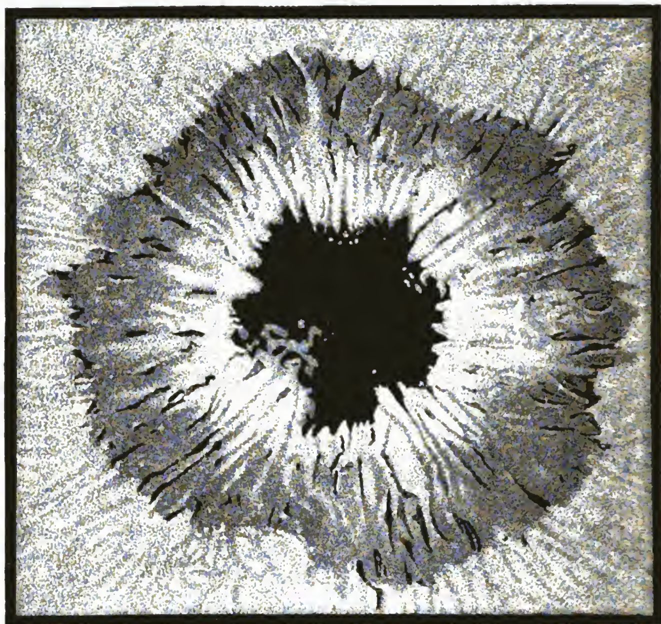
Andererseits findet man in der Regel auch einzelne dunklere Stellen, die sogenannten Sonnenflecken, auf der Oberfläche der Sonne, die schon von Galilei gesehen worden sind. Sie sind trichterförmig vertieft, die Wände des Trichters sind weniger dunkel als die tiefste Stelle, der Kern. Fig. 8 (a. f. S.) zeigt eine

[1]) Bis zu 15 000 geogr. Meilen nach Herrn H. C. Vogel's Beobachtungen in Bothkamp. Die spectroskopische Verschiebung der Linien zeigte Geschwindigkeiten bis zu 4 oder 5 Meilen in der Secunde, nach Lockyer sogar bis zu 8 und 9 Meilen.

Digitized by Google

Abbildung eines solchen Fleckes nach Padre Secchi, wie er bei sehr starker Vergrösserung erscheint. Ihr Durchmesser beträgt oft viele tausend Meilen, so dass zwei oder drei Erden darin neben einander liegen könnten. Diese Flecken können Wochen und

Fig. 8.



Monate lang unter langsamer Veränderung bestehen, ehe sie sich wieder auflösen, und können bis dahin mehrere Rotationen des Sonnenkörpers mitmachen. Zuweilen treten aber auch sehr schnelle Revolutionen in ihnen auf. Dass der Kern derselben tiefer liegt als der Rand des umgebenden Halbschattens, geht aus der gegenseitigen Verschiebung beider hervor, wenn sie sich dem Sonnenrande nähern und deshalb in sehr schräger Richtung gesehen werden. Figur 9 stellt in 1 bis 5 das verschiedene Ansehen eines solchen Fleckes dar, der sich dem Sonnenrande nähert.

Gerade an dem Rande dieser Flecke findet man die spectroskopischen Zeichen heftigster Bewegung und in ihrer Nähe oft

grosse Protuberanzen; verhältnissmässig oft zeigen sie wirbelnde Bewegung und eine auf eine solche hindeutende Zeichnung. Man kann sie für Stellen halten, wo die kühler gewordenen Gase aus den äusseren Schichten der Sonnenatmosphäre herabsinken und

Fig. 9.



vielleicht auch locale oberflächliche Abkühlungen der Sonnenmasse selbst hervorbringen. Zur Erklärung dieser Erscheinungen muss man bedenken, dass die von dem heissen Sonnenkörper neu aufsteigenden Gase mit Dämpfen schwer flüchtiger Metalle überladen sind, beim Aufsteigen selbst aber sich ausdehnen und theils durch die Dehnung, theils durch die Strahlung gegen den Weltraum gekühlt werden müssen. Dabei werden sie ihre schwerflüchtigeren Bestandtheile als Nebel oder Wolken ausscheiden. Diese Kühlung muss natürlich immer nur als eine verhältnissmässige aufgefasst werden; ihre Temperatur bleibt wahrscheinlich immer noch höher als alle irdisch erreichbaren Temperaturen. Wenn nun die obersten von schwereren Dämpfen befreiten und am meisten gekühlten Schichten niedersinken, werden sie nebelfrei bis zum Sonnenkörper bleiben können. Als Vertiefungen erscheinen sie, weil rings umher die bis zu 100 Meilen hohen Schichten glühenden Nebels liegen.

Heftige Bewegungen in der Sonnenatmosphäre können nicht fehlen, weil dieselbe von aussen gekühlt wird, und die kühlsten und deshalb verhältnissmässig dichtesten und schwersten Theile derselben über den heisseren und leichteren zu liegen kommen. Aus dem gleichen Grunde haben wir ja fortdauernde und zum Theil plötzliche und gewaltsame Bewegungen auch in der Erdatmosphäre, weil auch diese von dem sonnigen Boden her erwärmt, von oben gekühlt wird. Nur sind bei der viel colossaleren Grösse und Temperatur der Sonne auch ihre meteorologischen Processe viel grösser und gewaltsamer.

Wir wollen jetzt übergehen zu der Frage nach der Beständigkeit des jetzigen Zustandes unseres Systems. Lange Zeit hindurch

Digitized by Google

wurde ziemlich allgemein die Ansicht vorgetragen, dasselbe sei, in seinen wesentlichen Eigenthümlichkeiten wenigstens, absolut unveränderlich. Es gründete sich diese Meinung hauptsächlich auf die Aussprüche, welche Laplace als die Endergebnisse seiner langen und mühsamen Untersuchungen über den Einfluss der planetarischen Störungen hingestellt hatte. Unter Störungen der Planetenbewegungen verstehen die Astronomen, wie ich schon erwähnt habe, diejenigen Abweichungen von der reinen elliptischen Bewegung, welche bedingt sind durch die Anziehungen der verschiedenen Planeten und Trabanten auf einander. Die Anziehung der Sonne, als des bei Weitem grössten Körpers unseres Systems, ist allerdings die hauptsächlichste und überwiegende Kraft, welche die Bewegung der Planeten bestimmt. Wenn sie allein wirkte, würde jeder der Planeten fortdauernd in einer ganz constant bleibenden Ellipse, deren Axen unverändert gleiche Richtung und gleiche Grösse behielten, in unveränderlichen Umlaufszeiten sich bewegen. In Wahrheit wirken aber auf jeden neben der Anziehung von der Sonne aus auch noch die Anziehungen aller anderen Planeten, die, obgleich sie klein sind, doch in längeren Zeiträumen langsame Veränderungen in der Ebene, der Richtung und Grösse der Axen seiner elliptischen Bahn hervorrufen. Man hatte die Frage aufgeworfen, ob vielleicht diese Veränderungen der Bahnen so weit gehen könnten, dass zwei benachbarte Planeten zusammenstiessen, oder einzelne wohl gar in die Sonne fielen. Darauf konnte Laplace antworten, dass das nicht der Fall sein würde, dass alle durch diese Art von Störungen hervorgebrachten Veränderungen in den Planetenbahnen periodisch ab- und zunehmen und immer wieder zu einem mittleren Zustande zurückkehren müssen. Aber was wohl zu merken ist, dieses Resultat von Laplace's Untersuchungen gilt nur für die Störungen, welche durch die gegenseitigen Anziehungen der Planeten unter einander hervorgebracht werden, und unter der Voraussetzung, dass keine Kräfte anderer Art auf ihre Bewegungen Einfluss haben.

Hier auf Erden können wir eine solche ewig dauernde Bewegung nicht herstellen, wie die der Planeten für unsere Beobachtungsmittel zu sein scheint, weil jeder Bewegung irdischer Körper sich fortdauernd widerstehende Kräfte entgegensetzen. Die bekanntesten derselben bezeichnen wir als Reibung, als Luftwiderstand, als unelastischen Stoss.

So kommt das Grundgesetz der Mechanik, wonach jede Bewegung eines Körpers, auf den keine Kraft einwirkt, ewig in gerader Linie

Digitized by Google

mit unveränderter Geschwindigkeit fortgeht, niemals zur ungestörten Erscheinung. Auch wenn wir den Einfluss der Schwere beseitigen, bei einer Kugel zum Beispiel, die auf ebener Bahn fortrollt, sehen wir dieselbe zwar eine Strecke vorwärts gehen, desto weiter, je glatter die Bahn, aber wir hören gleichzeitig die rollende Kugel klappern, das heisst Schallerschütterungen an die umgebenden Körper abgeben; sie reibt sich auch an der glattesten Bahn, sie muss die umgebende Luft mit in Bewegung setzen und an diese einen Theil ihrer Bewegung abgeben. So geschieht es, dass ihre Geschwindigkeit immer geringer wird, bis sie endlich ganz aufhört. Ebenso bleibt auch das sorgfältigst gearbeitete Rad, welches auf feinen Spitzen läuft, einmal in Drehung gesetzt, zwar einige Zeit im Schwunge und dreht sich allenfalls eine Viertelstunde lang oder selbst noch länger, endlich aber hört es doch auf. Denn immer hat es etwas Reibung an den Zapfen und daneben noch den Widerstand der Luft zu überwinden, welcher Widerstand übrigens auch hauptsächlich durch die Reibung der verschiedenen vom Rade mitbewegten Lufttheilchen an einander hervorgebracht wird.

Könnten wir einen Körper in Drehung versetzen und gegen das Fallen schützen, ohne dass er auf einem anderen ruht, und könnten wir ihn in einen absolut leeren Raum versetzen, so würde sich derselbe allerdings in alle Ewigkeit mit unverminderter Geschwindigkeit weiter bewegen können. In diesem Falle, der sich an irdischen Körpern nicht herstellen lässt, schienen nun die Planeten mit ihren Trabanten zu sein. Sie schienen sich in dem ganz leeren Weltraume zu bewegen ohne Berührung mit einem anderen Körper, gegen den sie reiben könnten, und somit schien ihre Bewegung eine niemals abnehmende sein zu können.

Aber Sie sehen, die Berechtigung zu diesem Schlusse beruht auf der Frage: Ist der Weltraum wirklich ganz leer? Entsteht bei der Bewegung der Planeten nirgend Reibung?

Beide Fragen müssen wir jetzt nach den Fortschritten, welche die Naturkenntniss seit Laplace gemacht hat, mit Nein beantworten.

Der Weltraum ist nicht ganz leer. Erstens ist in ihm dasjenige Medium continuirlich verbreitet, dessen Erschütterungen das Licht und die strahlende Wärme ausmachen, und welches die Physik als den Lichtäther bezeichnet. Zweitens sind grosse und kleine Bruchstücke schwerer Masse von der Grösse riesiger Steine bis zu der von Staub noch jetzt, wenigstens in den Theilen des Raumes, welche unsere Erde durchläuft, überall verbreitet.

Digitized by Google

Was zunächst den Lichtäther betrifft, so ist die Existenz desselben nicht zweifelhaft zu nennen. Dass das Licht und die strahlende Wärme eine sich wellenförmig ausbreitende Bewegung sei, ist genügend bewiesen. Damit eine solche Bewegung sich durch die Welträume ausbreiten könne, muss etwas da sein, was sich bewegt. Ja aus der Grösse der Wirkungen dieser Bewegung, oder aus dem, was die Mechanik die lebendige Kraft derselben nennt, können wir sogar gewisse Grenzen für die Dichtigkeit des Medium, welches sich bewegt, herleiten. Eine solche Rechnung ist von Sir W. Thomson, dem berühmten Physiker von Glasgow, für den Lichtäther durchgeführt worden und hat ergeben, dass seine Dichtigkeit möglicher Weise ausserordentlich viel kleiner als die der Luft in dem sogenannten Vacuum einer guten Luftpumpe sein mag; aber absolut gleich Null kann die Masse des Aethers nicht sein. Ein Volumen gleich dem der Erde kann nicht unter 2775 Pfund Lichtäther enthalten [1]).

Dem entsprechen die Erscheinungen im Weltraum. So wie ein schwerer Stein, durch die Luft geworfen, kaum einen Einfluss des Luftwiderstandes bemerken lässt, eine leichte Feder aber sehr merklich aufgehalten wird, so ist auch das den Weltraum füllende Medium viel zu dünn, als dass die schweren Planeten seit der Zeit, wo wir astronomische Beobachtungen ihres Laufes haben, irgend eine Verminderung ihrer Bewegung erkennen liessen. Anders ist es mit den kleineren Körpern unseres Systems. Namentlich hat Encke an dem nach ihm benannten kleinen Kometen festgestellt, dass derselbe sich in immer engeren Bahnen um die Sonne bewegt und in immer kürzeren Umlaufszeiten. Er führt also dieselbe Art von Bewegung aus, die Sie an dem erwähnten kreisförmig umlaufenden Pendel beobachten können, welches, allmälig durch den Luftwiderstand in seiner Geschwindigkeit verzögert, seine Kreise immer enger und enger um sein Attractionscentrum beschreibt. Der Grund davon ist folgender. Die Kraft, welche der Anziehung der Sonne auf alle Planeten und Kometen Widerstand leistet und dieselben verhindert sich der Sonne mehr und mehr zu nähern, ist die sogenannte Centrifugalkraft, das heisst das Bestreben, die ihnen einwohnende Bewegung geradlinig längs der Tangente ihrer Bahn fortzusetzen. So wie sich die Kraft ihrer Bewegung vermindert,

---

[1]) Die Grundlagen würden dieser Rechnung allerdings entzogen werden, wenn sich die Maxwell'sche Hypothese bestätigen sollte, wonach das Licht auf elektrischen und magnetischen Oscillationen beruht.

Digitized by Google

geben sie der Anziehung der Sonne um ein Entsprechendes nach, und nähern sich dieser. Dauert der Widerstand fort, so werden sie fortfahren sich der Sonne zu nähern, bis sie in diese hineinstürzen. Auf diesem Wege befindet sich offenbar der Encke'sche Komet. Aber der Widerstand, dessen Vorhandensein im Weltraume hierdurch angezeigt wird, muss in demselben Sinne, wenn auch erheblich langsamer, auf die viel grösseren Körper der Planeten wirken und längst schon gewirkt haben.

Sehr viel deutlicher als durch den Reibungswiderstand verräth sich aber die Anwesenheit theils fein, theils grob vertheilter schwerer Masse im Weltraum durch die Erscheinungen der Sternschnuppen und der Meteorsteine. Wir wissen jetzt bestimmt, dass dies Körper sind, die im Weltraum herumschwärmten, ehe sie in den Bereich unserer irdischen Atmosphäre geriethen. In dem stärker widerstehenden Mittel, was diese darbietet, wurden sie demnächst in ihrer Bewegung verzögert und gleichzeitig durch die damit verbundene Reibung erhitzt. Viele von ihnen mögen noch wieder den Ausweg aus der irdischen Atmosphäre finden und mit veränderter und verzögerter Bewegung ihren Weg durch den Weltraum fortsetzen. Andere stürzen zur Erde, die grösseren als Meteorsteine, die kleineren werden durch die Hitze wahrscheinlich in Staub zersprengt und mögen als solcher unsichtbar herabfallen. Nach Alexander Herschel's Schätzungen dürfen wir uns die Sternschnuppen im Durchschnitt von der Grösse der Chausseesteine denken. Ihr Aufglühen geschieht meist schon in den höchsten und dünnsten Theilen der Atmosphäre, vier und mehr Meilen über der Erdoberfläche. Da sie sich im Weltraume gerade nach denselben Gesetzen wie Planeten und Kometen bewegt haben, so haben sie auch planetarische Geschwindigkeit von vier bis neun Meilen in der Secunde. Auch daran erkennen wir, dass sie in der That *stelle cadenti*, fallende Sterne, sind, wie sie von den Dichtern längst genannt wurden.

Diese ihre ungeheure Geschwindigkeit, womit sie in unsere Atmosphäre eindringen, ist auch zweifelsohne der Grund ihrer Erhitzung. Sie wissen alle, dass Reibung die geriebenen Körper erwärmt. Jedes Streichhölzchen, welches wir anzünden, jedes schlecht geschmierte Wagenrad, jeder Bohrer, den wir in hartes Holz treiben, lehrt dies. Die Luft erhitzt sich wie feste Körper durch Reibung, aber auch durch die zu ihrer Compression verbrauchte Arbeit. Eines der bedeutendsten Ergebnisse der neueren Physik, dessen thatsächlichen Nachweis wir vorzugsweise dem Engländer

Digitized by Google

Joule[1]) verdanken, ist es, dass die in einem solchen Falle entwickelte Wärmemenge genau proportional ist der zu dem Ende aufgewendeten mechanischen Arbeit. Messen wir mit den Maschinentechnikern die Arbeit durch das Gewicht, welches nöthig wäre um sie hervorzubringen, multiplicirt mit der Höhe, von der es herabsinken müsste, so hat Joule gezeigt, dass die Arbeit, welche dadurch erzeugt werden kann, dass ein gewisses Gewicht Wasser von 425 Meter Höhe herabfliesst, gerade zureicht dasselbe Gewicht Wasser durch Reibung um einen Centesimalgrad zu erwärmen. Welches Arbeitsäquivalent eine Geschwindigkeit von 4 bis 6 Meilen in der Secunde hat, lässt sich nach bekannten mechanischen Gesetzen leicht berechnen, und diese in Wärme verwandelt, würde hinreichen, ein Stück Meteoreisen bis zu 900 000 und 2 500 000° C. zu erhitzen, vorausgesetzt, dass sie ganz dem Eisen verbliebe, und nicht, wie es jedenfalls der Fall ist, zum grossen Theil an die Luft überginge. Wenigstens zeigt diese Rechnung, dass die den Sternschnuppen einwohnende Geschwindigkeit eine vollkommen hinreichende Ursache ist, um sie in das allerheftigste Glühen zu versetzen. Die durch unsere irdischen Mittel zu erreichenden Temperaturen steigen kaum über 2000 Grad. In der That lässt die äussere Rinde der gefallenen Meteorsteine meistens die Spuren beginnender Schmelzung erkennen; und wo Beobachter schnell genug den gefallenen Stein untersuchten, fanden sie ihn oberflächlich heiss, während das Innere an losgetrennten Bruchstücken zuweilen noch die intensive Kälte des Weltraumes zu zeigen scheint.

Dem einzelnen Beobachter, der gelegentlich nach dem gestirnten Himmel blickt, erscheinen die Sternschnuppen als ein sparsam und ausnahmsweise vorkommendes Phänomen. Wenn man aber anhaltend beobachtet, sieht man sie ziemlich regelmässig, namentlich gegen Morgen, wo am meisten fallen. Aber der einzelne Beobachter übersieht nur einen kleinen Theil der Atmosphäre, und berechnet man sie für die ganze Erdoberfläche, so ergiebt sich, dass täglich etwa $7^1/_2$ Millionen fallen! An und für sich sind sie in unseren Gegenden des Weltraumes ziemlich sparsam und weit entfernt von einander. Man kann nach A. Herschel's Schätzungen rechnen, dass jedes Steinchen im Durchschnitt hundert Meilen von seinen Nachbarn entfernt ist. Aber die Erde bewegt sich in jeder Secunde vier Meilen vorwärts und hat 1700 Meilen

[1]) Siehe Bd. I, S. 176.

Digitized by Google

Durchmesser, fegt also in jeder Secunde 9 Millionen Cubikmeilen des Weltraumes ab und nimmt mit, was ihr von Steinchen darin begegnet.

Viele Sternschnuppen sind regellos im Weltraum vertheilt; es sind dies wahrscheinlich solche, die schon Störungen durch die Planeten erlitten haben. Daneben giebt es aber auch dichtere Schwärme, die in regelmässig elliptischen Bahnen einherziehen und den Weg der Erde an bestimmten Stellen schneiden, deshalb an besonderen Jahrestagen immer wieder auftauchen. So ist jedes Jahr ausgezeichnet der 10. August, und alle 33 Jahre für einige Jahre sich wiederholend das prachtvolle Feuerwerk des 12. bis 14. November. Merkwürdig ist, dass auf den Bahnen dieser Schwärme gewisse Kometen laufen, und daher die Vermuthung entsteht, dass sich die Kometen allmälig in Meteorschwärme zersplittern.

Dies ist ein bedeutsamer Process. Was die Erde thut, thun unzweifelhaft auch die anderen Planeten und in noch viel höherem Maasse die Sonne, der alle die kleineren und dem Einflusse des widerstehenden Mittels mehr unterworfenen Körper unseres Systemes desto schneller zusinken müssen, je kleiner sie sind. Die Erde und die Planeten fegen seit Millionen von Jahren die lose Masse des Weltraumes zusammen, und halten fest, was sie einmal an sich gezogen haben. Daraus folgt aber, dass Erde und Planeten einst kleiner waren, als sie jetzt sind, und dass mehr Masse im Weltraum verstreut war; und wenn wir diese Betrachtung zu Ende denken, so führt uns dies auf einen Zustand, wo vielleicht alle Masse, die jetzt in der Sonne und den Planeten angehäuft ist, in loser Zerstreuung durch den Weltraum schwärmte. Denken wir daran, dass die kleinen Massen der Meteoriten, wie sie jetzt fallen, auch vielleicht durch allmälige Aneignung feineren Staubes gewachsen sein mögen, so würden wir uns auf einen Urzustand feiner nebelartiger Massenvertheilung hingewiesen sehen.

Unter diesem Gesichtspunkte, dass der Fall der Sternschnuppen und Meteorsteine vielleicht ein kleiner Rest eines Processes ist, der einst unsere Welten gebildet hat, gewinnt er eine sehr erhöhte Bedeutung.

Dies wäre nun eine Vermuthung, die nur ihre Möglichkeit für sich hätte, aber vielleicht noch nicht viel Wahrscheinlichkeit für sich in Anspruch nehmen würde, wenn wir nicht fänden, dass schon längst, von ganz anderen Betrachtungen ausgehend, unsere Vorgänger zu ganz derselben Hypothese gekommen sind.

Digitized by Google

Sie wissen, dass eine beträchtliche Anzahl von Planeten um die Sonne kreisen; ausser den acht grösseren, Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, laufen in dem Zwischenraum zwischen Mars und Jupiter, so weit bis jetzt bekannt, 156 kleine Planeten oder Planetoiden. Um die grösseren Planeten, nämlich um die Erde und die vier entferntesten, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, laufen auch Monde, und endlich drehen sich die Sonne und wenigstens die grösseren Planeten um ihre eigene Axe. Zunächst ist nun auffallend, dass alle Bahnebenen der Planeten und ihrer Trabanten, sowie die Aequatorialebenen der Planeten nicht sehr weit von einander abweichen, und dass in diesen Ebenen alle Rotationen in demselben Sinne geschehen. Die einzige erhebliche Ausnahme, die man kennt, sind die Monde des Uranus, deren Bahnebene nahehin rechtwinklig gegen die Bahnebenen der grösseren Planeten ist. Dabei ist hervorzuheben, dass die Uebereinstimmung in der Richtung dieser Ebenen im Allgemeinen um so grösser ist, um je grössere Körper und um je längere Bahnen es sich handelt, während an den kleineren Körpern und für die kleineren Bahnen, namentlich auch für die Drehungen der Planeten um ihre eigenen Axen, erheblichere Abweichungen vorkommen. So haben die Bahnebenen aller Planeten mit Ausnahme des Merkur und der kleinen zwischen Mars und Jupiter, höchstens 3° Abweichung (Venus) von der Erdbahn. Auch die Aequatorialebene der Sonne weicht nur um $7^1/_2{}^0$ ab, die des Jupiter nur halb so viel. Die Aequatorialebene der Erde weicht freilich um $23^1/_2{}^0$ ab, die des Mars um $28^1/_2{}^0$, mehr noch einzelne Bahnen der kleinen Planeten und Trabanten. Aber in diesen Bahnen bewegen sie sich alle rechtläufig, alle in demselben Sinne um die Sonne, und so weit man erkennen kann, auch um ihre eigene Axe, wie die Erde, nämlich von Westen nach Osten. Wären sie nun unabhängig von einander entstanden und zusammengekommen, so wäre eine jede Richtung der Bahnebenen für jeden einzelnen von ihnen gleich wahrscheinlich gewesen, rückläufige Richtung des Umlaufes ebenso wahrscheinlich, wie rechtläufige; stark elliptische Bahnen ebenso wahrscheinlich, als die nahe kreisförmigen, welche wir bei allen den genannten Körpern finden. In der That herrscht vollkommene Regellosigkeit bei den Kometen und Meteorschwärmen, für welche wir mancherlei Gründe haben, sie nur als zufällig in den Anziehungskreis unserer Sonne gerathene Gebilde anzusehen.

Die Zahl der übereinstimmenden Fälle bei den Planeten und ihren Trabanten ist zu gross, als dass man sie für Zufall halten

Digitized by Google

könnte. Man muss nach einer Ursache dieser Uebereinstimmung fragen, und diese kann nur in einem ursprünglichen Zusammenhange der ganzen Masse gesucht werden. Nun kennen wir wohl Kräfte und Vorgänge, die eine anfänglich zerstreute Masse sammeln, aber keine, welche grosse Körper, wie die Planeten, so weit in den Raum hinaustreiben konnte, wie wir sie jetzt finden. Ausserdem müssten sie stark elliptische Bahn haben, wenn sie sich an einem der Sonne viel näheren Orte von der gemeinsamen Masse gelöst hätten. Wir müssen also annehmen, dass diese Masse in ihrem Anfangszustande mindestens bis an die Bahn des äussersten Planeten hinausgereicht hat.

Dies waren im Wesentlichen die Betrachtungen, welche Kant und Laplace zu ihrer Hypothese führten. Unser System war nach ihrer Ansicht ursprünglich ein chaotischer Nebelball, in welchem anfangs, als er noch bis zur Bahn der äussersten Planeten reichte, viele Billionen Cubikmeilen kaum ein Gramm Masse enthalten konnten. Dieser Ball besass, als er sich von den Nebelballen der benachbarten Fixsterne getrennt hatte, eine langsame Rotationsbewegung. Er verdichtete sich unter dem Einfluss der gegenseitigen Anziehung seiner Theile und in dem Maasse, wie er sich verdichtete, musste die Rotationsbewegung zunehmen und ihn zu einer flachen Scheibe auseinander treiben. Von Zeit zu Zeit trennten sich die Massen am Umfang dieser Scheibe unter dem Einfluss der zunehmenden Centrifugalkraft, und was sich trennte, ballte sich wiederum in einen rotirenden Nebelball zusammen, der sich entweder einfach zu einem Planeten verdichtete, oder während dieser Verdichtung auch seinerseits noch wieder peripherische Massen abstiess, die zu Trabanten wurden, oder in einem Fall am Saturn als zusammenhängender Ring stehen blieben. In einem anderen Falle zerfiel die Masse, die sich vom Umfang des Hauptballes abschied, in viele von einander getrennte Theile und lieferte den Schwarm der kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter.

Unsere neueren Erfahrungen über die Natur der Sternschnuppen lassen uns nun erkennen, dass dieser Process der Verdichtung lose zerstreuter Masse zu grösseren Körpern noch gar nicht vollendet ist, sondern, wenn auch in schwachen Resten, noch immer fortgeht; vielleicht nur dadurch in der Erscheinungsform etwas geändert, dass inzwischen auch die gasartig oder staubartig zerstreute Masse des Weltraumes sich unter dem Einfluss der Attractionskraft und Krystallisationskraft ihrer Elemente in grössere Bröckel vereinigt hat, als deren im Anfang existirten.

Digitized by Google

Die Sternschnuppenfälle, als die jetzt vor sich gehenden Beispiele des Processes, der die Weltkörper gebildet hat, sind noch in anderer Beziehung wichtig. Sie entwickeln Licht und Wärme, und das leitet uns auf eine dritte Reihe von Ueberlegungen, die wieder zu demselben Ziele führt.

Alles Leben und alle Bewegung auf unserer Erde wird mit wenigen Ausnahmen unterhalten durch eine einzige Triebkraft, die der Sonnenstrahlen, welche uns Licht und Wärme bringen. Sie wärmen die Luft der heissen Zone, diese wird leichter und steigt auf, kältere fliesst den Polen nach. So entsteht die grosse Luftcirculation der Passatwinde. Locale Temperaturunterschiede über Land und Meer, Ebene und Gebirge greifen mannigfaltig abändernd ein in diese grosse Bewegung und bringen uns den launenhaften Wechsel des Windes. Warme Wasserdämpfe steigen mit der warmen Luft auf, verdichten sich als Wolken und fallen in kälteren Zonen und auf die schneeigen Häupter der Berge als Regen, als Schnee. Das Wasser sammelt sich in Bächen, in Flüssen, tränkt die Ebene und macht Leben möglich, zerbröckelt die Steine, schleppt ihre Trümmer mit fort und arbeitet so an dem geologischen Umbau der Erdoberfläche. Nur unter dem Einfluss der Sonnenstrahlen wächst die bunte Pflanzendecke der Erde auf, und während sie wachsen, häufen sie in ihrem Körper organische Substanz an, die wiederum dem ganzen Thierreich als Nahrung, und dem Menschen insbesondere auch noch als Brennmaterial dient. Sogar die Steinkohlen und Braunkohlen, die Kraftquellen unserer Dampfmaschinen, sind Reste urweltlicher Pflanzen; alte Erzeugnisse der Sonnenstrahlen.

Dürfen wir uns wundern, wenn unseren Urvätern arischen Stammes in Indien und Persien die Sonne als das geeignetste Symbol der Gottheit erschien. Sie hatten Recht, wenn sie sie als die Spenderin alles Lebens, als die letzte Quelle von fast allem irdischen Geschehen ansahen.

Aber woher kommt der Sonne diese Kraft? Sie strahlt intensiveres Licht aus, als mit irgend welchen irdischen Mitteln zu erzeugen ist. Sie liefert so viel Wärme, als wenn in jeder Stunde 1500 Pfund Kohle auf jedem Quadratfuss ihrer Oberfläche verbrannt würden. Von dieser Wärme, die ihr entströmt, leistet der kleine Bruchtheil, der in unsere Atmosphäre eintritt, eine grosse mechanische Arbeit. Dass Wärme im Stande sei, eine solche zu leisten, lehrt uns jede Dampfmaschine. In der That treibt die Sonne hier auf Erden eine Art von Dampfmaschine, deren Leistungen denen

Digitized by Google

der künstlich construirten Maschinen bei weitem überlegen sind. Die Wassercirculation in der Atmosphäre nämlich schafft, wie schon erwähnt, das aus den warmen tropischen Meeren verdampfende Wasser auf die Höhe der Berge; sie stellt gleichsam eine Wasserhebungsmaschine grösster Art dar, mit deren Leistungsgrösse keine künstliche Maschine sich auch nur im entferntesten messen kann. Ich habe vorher schon das mechanische Aequivalent der Wärme angegeben. Danach berechnet, ist die Arbeit, welche die Sonne durch ihre Wärmeausstrahlung leistet, gleichwerthig der fortdauernden Arbeit von 7000 Pferdekräften für jeden Quadratfuss der Sonnenoberfläche.

Längst hatte sich den Technikern die Erfahrung aufgedrängt, dass man eine Triebkraft nicht aus Nichts erzeugen kann, dass man sie nur aus dem uns dargebotenen, fest begrenzten und nicht willkürlich zu vergrössernden Vorrathe der Natur nehmen kann, sei es vom strömenden Wasser oder vom Winde, sei es aus den Steinkohlenlagern oder von Menschen und Thieren, die nicht arbeiten können ohne Lebensmittel zu verbrauchen. Diese Erfahrungen hat die neuere Physik allgemeingültig zu machen gewusst, anwendbar für das grosse Ganze aller Naturprocesse und unabhängig von den besonderen Interessen der Menschen. Sie sind verallgemeinert und zusammengefasst in dem allbeherrschenden Naturgesetze von der Erhaltung der Kraft. Es ist kein Naturprocess und keine Reihenfolge von Naturprocessen aufzufinden, so mannigfache Wechselverhältnisse auch zwischen ihnen stattfinden mögen, durch welchen eine Triebkraft fortdauernd ohne entsprechenden Verbrauch gewonnen werden könnte. Wie das Menschengeschlecht hier auf Erden nur einen begrenzten Vorrath von arbeitsfähigen Triebkräften vorfindet, den es benutzen, aber nicht vermehren kann, so muss es auch im grossen Ganzen der Natur sein. Auch das Weltall hat seinen begrenzten Vorrath an Kraft, der in ihm arbeitet unter immer wechselnden Formen der Erscheinung, unzerstörbar, unvermehrbar, ewig und unveränderlich, wie die Materie. Es ist, als hätte Goethe eine Ahnung davon gehabt, wenn er den Erdgeist als den Vertreter der Naturkraft von sich sagen lässt:

Digitized by Google

In Lebensfluthen, im Thatensturm
Wall ich auf und ab,
Webe hin und her,
Geburt und Grab,
Ein ewiges Meer,
Ein wechselnd Weben,
Ein glühend Leben.
So schaff ich am sausenden Webstuhl der Zeit,
Und wirke der Gottheit lebendiges Kleid.

Wenden wir uns also zurück zu der besonderen Frage, die uns hier beschäftigte, woher hat die Sonne diesen ungeheuren Kraftvorrath, den sie ausströmt?

Auf Erden sind die Verbrennungsprocesse die reichlichste Quelle von Wärme. Kann vielleicht die Sonnenwärme durch einen Verbrennungsprocess entstehen? Diese Frage kann vollständig und sicher mit Nein beantwortet werden; denn wir wissen jetzt, dass die Sonne die uns bekannten irdischen Elemente enthält. Wählen wir aus diesen die beiden, welche bei kleinster Masse durch ihre Vereinigung die grösste Menge Wärme erzeugen können, nehmen wir an, dass die Sonne aus Wasserstoff und Sauerstoff bestände, in dem Verhältnisse gemischt, wie diese bei der Verbrennung sich zu Wasser vereinigen. Die Masse der Sonne ist bekannt, die Wärmemenge ebenfalls, welche durch Verbindung bekannter Gewichte von Wasserstoff und Sauerstoff entsteht. Die Rechnung ergiebt, dass unter der gemachten Voraussetzung die durch deren Verbrennung entstehende Wärme hinreichen würde, die Wärmeausstrahlung der Sonne auf 3021 Jahre zu unterhalten. Das ist freilich eine lange Zeit; aber schon die Menschengeschichte lehrt, dass die Sonne viel länger als 3000 Jahre geleuchtet und gewärmt hat, und die Geologie lässt keinen Zweifel darüber, dass diese Frist auf Millionen von Jahren auszudehnen ist.

Die uns bekannten chemischen Kräfte sind also in so hohem Grade unzureichend, auch bei den günstigsten Annahmen, eine solche Wärmeerzeugung zu erklären, wie sie in der Sonne stattfindet, dass wir diese Hypothese gänzlich fallen lassen müssen.

Wir müssen nach Kräften von viel mächtigeren Dimensionen suchen; und da finden wir nur noch die kosmischen Anziehungskräfte. Wir haben schon gesehen, dass die beziehlich kleinen Massen der Sternschnuppen und Meteore, wenn ihre kosmischen Geschwindigkeiten durch unsere Atmosphäre gehemmt werden, ganz ausserordentlich grosse Wärmemengen erzeugen können. Die Kraft aber, welche diese grossen Geschwindigkeiten erzeugt hat,

Digitized by Google

ist die Gravitation. Wir kennen diese Kraft schon als eine wirksame Triebkraft an der Oberfläche unseres Planeten, wo sie als irdische Schwere erscheint. Wir wissen, dass ein von der Erde abgehobenes Gewicht unsere Uhren treiben kann, dass ebenso die Schwere des von den Bergen herabkommenden Wassers unsere Mühlen treibt.

Wenn ein Gewicht von der Höhe herabstürzt und auf den Boden schlägt, so verliert die Masse desselben allerdings die sichtbare Bewegung, welche sie als Ganzes hatte; aber in Wahrheit ist diese Bewegung nicht verloren, sondern sie geht nur auf die kleinsten elementaren Theilchen der Masse über, und diese unsichtbare Vibration der Molekeln ist Wärmebewegung. Die sichtbare Bewegung wird beim Stosse in Wärmebewegung verwandelt.

Was in dieser Beziehung für die Schwere gilt, gilt ebenso für die Gravitation. Eine schwere Masse, welcher Art sie auch sein möge, die von einer anderen schweren Masse getrennt im Raume schwebt, stellt eine arbeitsfähige Kraft dar. Denn beide Massen ziehen sich an, und wenn sie ungehemmt durch eine Centrifugalkraft unter Einfluss dieser Anziehung sich einander nähern, so geschieht dies mit immer wachsender Geschwindigkeit; und wenn diese Geschwindigkeit schliesslich, sei es plötzlich durch den Zusammenstoss, sei es allmälig durch Reibung beweglicher Theile vernichtet wird, so giebt sie entsprechende Mengen von Wärmebewegung, deren Betrag nach dem vorher angegebenen Aequivalentverhältniss zwischen Wärme und mechanischer Arbeit zu berechnen ist.

Wir dürfen nun wohl mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass auf die Sonne sehr viel mehr Meteore fallen, als auf die Erde und mit grösserer Geschwindigkeit fallen, also auch mehr Wärme geben. Die Hypothese indessen, dass der ganze Betrag der Sonnenwärme fortdauernd der Ausstrahlung entsprechend durch Meteorfälle erzeugt werde, eine Hypothese, welche von Robert Mayer aufgestellt und von mehreren anderen Physikern günstig aufgenommen wurde, stösst nach Sir W. Thomson's Untersuchungen auf Schwierigkeiten, indem die Masse der Sonne in diesem Falle so schnell zunehmen müsste, dass die Folgen davon sich schon in der beschleunigten Bewegung der Planeten verrathen haben würden. Wenigstens kann nicht die ganze Wärmeausgabe der Sonne auf diese Weise erzeugt werden, höchstens ein Theil, der aber vielleicht nicht unbedeutend sein mag.

Wenn nun keine gegenwärtige uns bekannte Kraftleistung

Digitized by Google

ausreicht, die Ausgabe der Sonnenwärme zu decken, so muss die Sonne von alter Zeit her einen Vorrath von Wärme haben, den sie allmälig ausgiebt. Aber woher dieser Vorrath? Wir wissen schon, nur kosmische Kräfte können ihn erzeugt haben. Da kommt uns die vorher besprochene Hypothese über den Ursprung der Sonne zu Hilfe. Wenn die Stoffmasse der Sonne einst in den kosmischen Räumen zerstreut war, sich dann verdichtet hat, das heisst unter dem Einfluss der himmlischen Schwere auf einander gefallen ist, wenn dann die entstandene Bewegung durch Reibung und Stoss vernichtet wurde, indem sie Wärme erzeugte, so mussten die durch solche Verdichtung entstandenen jungen Weltkörper einen Vorrath von Wärme mitbekommen von nicht bloss bedeutender, sondern zum Theil von colossaler Grösse.

Die Rechnung ergiebt, dass bei Annahme der Wärmecapacität des Wassers für die Sonne die Temperatur auf 28 Millionen [1]) Grade hätte gesteigert werden können, wenn diese ganze Wärmemenge jemals ohne Verlust in der Sonne zusammen gewesen wäre. Das dürfen wir nicht annehmen; denn eine solche Temperatursteigerung wäre das stärkste Hinderniss der Verdichtung gewesen. Es ist vielmehr wahrscheinlich, dass ein guter Theil dieser Wärme, der durch die Verdichtung erzeugt wurde, noch ehe diese vollendet war, anfing hinauszustrahlen in den Raum. Aber die Wärme, welche die Sonne bisher durch ihre Verdichtung hat entwickeln können, würde zugereicht haben um ihre gegenwärtige Wärmeausgabe auf nicht weniger denn 22 Millionen Jahre der Vergangenheit zu decken.

Und die Sonne ist offenbar noch nicht so dicht, wie sie werden kann. Die Spectralanalyse zeigt uns die Anwesenheit grosser Eisenmassen und anderer bekannter irdischer Gebirgsbestandtheile in ihr an. Der Druck, der ihr Inneres zu verdichten strebt, ist etwa 800 Mal so gross, als der im Kern der Erde, und doch beträgt die Dichtigkeit der Sonne, wahrscheinlich in Folge ihrer ungeheuer hohen Temperatur, weniger als ein Viertel von der mittleren Dichtigkeit der Erde.

Wir dürfen es deshalb wohl für sehr wahrscheinlich halten, dass die Sonne noch fortschreiten wird in ihrer Verdichtung, und wenn sie auch nur bis zur Dichtigkeit der Erde gelangt, — wahrscheinlich aber wird sie wegen des ungeheuren Druckes in ihrem

---

[1]) Siehe die Nachweise zu diesen Zahlen Bd. I, S. 46 und 75.

Digitized by Google

Inneren viel dichter werden, — so würde dies neue Wärmemengen entwickeln, welche genügen würden für noch weitere 17 Millionen Jahre dieselbe Intensität des Sonnenscheins zu unterhalten, welche jetzt die Quelle alles irdischen Lebens ist.

Die kleineren Körper unseres Systemes konnten sich weniger erhitzen als die Sonne, weil die Anziehung der neu hinzukommenden Massen bei ihnen schwächer war. Ein Körper wie die Erde konnte sich indessen, wenn wir auch ihre Wärmecapacität so hoch wie die des Wassers setzen, immerhin noch auf 9000 Grad erhitzen, auf mehr als unsere Flammen zu Stande bringen. Die kleineren Körper mussten sich auch schneller abkühlen, wenigstens so lange sie noch flüssig waren. Noch zeigt die mit der Tiefe steigende Wärme in Bohrlöchern, Bergwerken, die Existenz der heissen Quellen und der vulcanischen Ausbrüche, dass im Inneren der Erde eine sehr hohe Temperatur herrscht, welche kaum etwas anders sein kann, als ein Rest des alten Wärmevorrathes von der Zeit ihrer Entstehung her. Wenigstens sind die Versuche, für die innere Erdwärme eine jüngere Entstehung aus chemischen Processen aufzufinden, bisher nur auf sehr willkürliche Annahmen gestützt und der allgemeinen gleichmässigen Verbreitung der inneren Erdwärme gegenüber ziemlich ungenügend.

Dagegen fällt bei den grossen Massen des Jupiter, des Saturn, des Uranus, des Neptun die geringe Dichtigkeit auf, wie bei der Sonne, während die kleineren Planeten und der Mond sich der Dichtigkeit der Erde nähern. Man darf auch hier wohl an die höhere Anfangstemperatur und die langsamere Abkühlung denken, wie sie grösseren Massen eigenthümlich ist [1]). Der Mond dagegen zeigt an seiner Oberfläche Bildungen, die in auffallendster Weise an vulcanische Krater erinnern, und ihrerseits ebenfalls auf alte Glühhitze unseres Trabanten hinweisen. Wie denn auch ferner die Art seiner Rotation, dass er nämlich der Erde immer dieselbe Seite zukehrt, eine Eigenthümlichkeit ist, die durch die Reibung einer Flüssigkeit hervorgebracht werden konnte. Auf seiner Oberfläche ist von einer solchen jetzt nichts mehr wahrzunehmen.

Sie sehen, wie verschiedene Wege uns immer auf denselben Anfangszustand zurückgeführt haben. Die Kant-Laplace'sche Hypothese erweist sich als einer der glücklichen Griffe in der Wissenschaft, die uns anfangs durch ihre Kühnheit erstaunen

---

1) Herr Zoellner schliesst aus photometrischen Messungen, die aber wohl noch der Bestätigung bedürfen, dass der Jupiter noch jetzt eigenes Glühlicht habe.

Digitized by Google

machen, sich dann nach allen Seiten hin mit anderen Entdeckungen in Wechselbeziehungen setzen und in ihren Folgerungen bestätigen, bis sie uns vertraut werden. Dazu hat in diesem Falle nun noch ein anderer Umstand beigetragen, nämlich die Wahrnehmung, dass

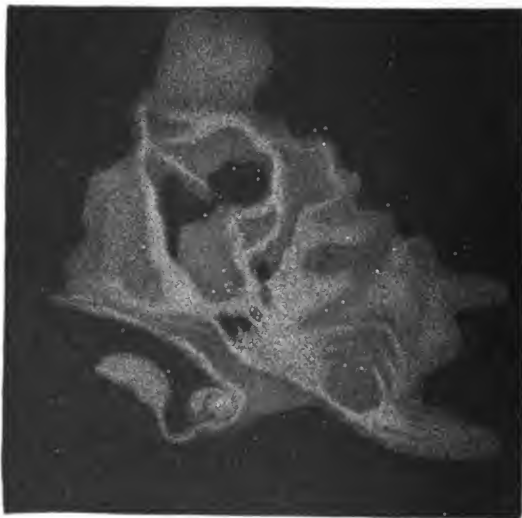
Fig. 10.



diese Umbildungsprocesse, welche die besprochene Theorie voraussetzt, auch jetzt immer noch, wenn auch in verringertem Maassstabe, vor sich gehen, wie alle Stadien jener Umbildung auch jetzt noch existiren.

Denn, wie wir anfangs gesehen haben, wachsen auch jetzt noch die schon gebildeten grossen Körper durch Anziehung der im Weltraum zerstreuten meteorischen Massen unter Feuererscheinung. Auch jetzt noch werden die kleineren Körper langsam durch den Widerstand im Weltraum der Sonne zugetrieben. Auch jetzt noch finden wir am Fixsternhimmel nach J. Herschel's neuestem Kataloge über 5000 Nebelflecke, von

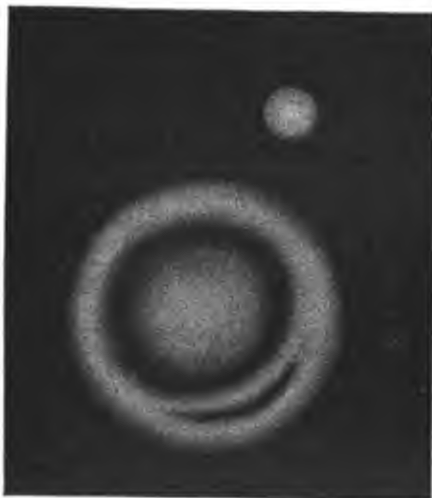
Fig. 11.



Digitized by Google

denen die hinreichend lichtstarken meistens ein Farbenspectrum von feinen hellen Linien geben, wie sie in den Spectren der glühenden Gase erscheinen. Die Nebelflecke sind theils rundliche Gebilde, sogenannte planetarische Nebel (Fig. 10), theils von ganz unregelmässiger Form, wie der in Fig. 11 dargestellte grosse Nebel aus

Fig. 12.



dem Orion; zum Theil sind sie ringförmig, wie in Fig. 12 aus den Jagdhunden. Sie sind meist nur schwach, aber mit ihrer ganzen

Fig. 13.



Fig. 14.

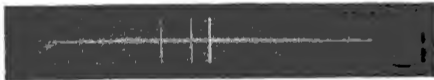


Fläche leuchtend, während die Fixsterne immer nur als leuchtende Punkte erscheinen.

Digitized by Google

In vielen Nebeln unterscheidet man kleine Sterne, wie in Fig. 13 und Fig. 14 (a. v. S.) aus dem Schützen und Fuhrmann. Man unterschied immer mehr Sterne in ihnen, je bessere Teleskope man zu ihrer Analyse anwandte. So konnte vor der Erfindung der Spectralanalyse W. Herschel's frühere Ansicht als die wahrscheinlichste angesehen werden, dass, was wir als Nebel sähen, nur Haufen sehr feiner Sterne, andere Milchstrassensysteme seien. Die Spectralanalyse hat nun aber auch an vielen Nebelflecken, welche Sterne enthalten, ein Gasspectrum gezeigt, während wirkliche Sternhaufen das continuirliche Spectrum glühender fester Körper zeigen. Der Regel nach hat das der Nebelflecke drei deutlich erkennbare Linien, deren eine im Blau dem Wasserstoff angehört, eine zweite im Blaugrün dem Stickstoff [1]), die dritte zwischen beiden unbekannten Ursprunges ist. Fig. 15 zeigt ein solches Spectrum eines kleinen aber hellen

Fig. 15.



Nebels im Drachen. Spuren von anderen hellen Linien zeigen sich daneben, zuweilen auch wie in Fig. 15 Spuren eines continuirlichen Spectrum, welche aber alle zu lichtschwach sind, um genaue Untersuchung zuzulassen. Zu bemerken ist hierbei, dass das Licht sehr lichtschwacher Objecte, welche ein continuirliches Spectrum geben, durch das Spectroskop über eine grosse Fläche ausgebreitet, und deshalb äusserst geschwächt oder selbst ausgelöscht wird, während das unzerlegbare Licht heller Gaslinien beisammen bleibt, und deshalb noch gesehen werden kann. Jedenfalls zeigt die Zerlegung des Lichtes der Nebelflecke an, dass der bei weitem grösste Theil ihrer leuchtenden Fläche glühenden Gasen angehört, unter denen Wasserstoffgas einen hervorragenden Bestandtheil ausmacht. Bei den planetarischen, kugelförmigen oder scheibenförmigen könnte man glauben, dass die Gasmasse einen Zustand von Gleichgewicht erreicht hat; aber die meisten anderen Nebelflecke zeigen höchst unregelmässige Formen, welche in keiner Weise einem solchen Gleichgewichtszustande entsprechen. Da sie dessen ungeachtet ihre Gestalt nicht oder wenigstens nur in unmerklicher Weise ver-

[1]) Oder vielleicht auch dem Sauerstoff? Die Linie kommt im Spectrum der atmosphärischen Luft vor, und fehlte bei H. C. Vogel's Beobachtungen im Spectrum des reinen Sauerstoffs.

Digitized by Google

ändert haben, seit man sie kennt und beobachtet, so müssen sie entweder sehr wenig Masse haben, oder colossal gross und entfernt sein. Die erstere Alternative erscheint nicht sehr wahrscheinlich, weil kleine Massen auch ihre Wärme sehr bald ausgeben würden, und es bleibt also nur die zweite Annahme stehen, dass sie ungeheure Dimensionen und Entfernungen haben. Denselben Schluss hatte übrigens schon W. Herschel unter der Voraussetzung, dass die Nebelflecken Sternhaufen seien, gezogen.

An diejenigen Nebelflecke, welche ausser den Gaslinien auch noch das continuirliche Spectrum glühender dichterer Körper zeigen, schliessen sich theils unaufgelöste, theils in Sternhaufen auflösbare Flecke an, welche nur noch das Licht der letzteren Art zeigen.

Zu diesem Anfangsstadium der sich bildenden Welten gesellen sich die unzähligen leuchtenden Sterne des Himmelsgewölbes, deren Anzahl sich in jedem neuen vollkommenen Teleskope immer noch vermehrt. Sie sind ähnlich unserer Sonne an Grösse, an Leuchtkraft und im Ganzen auch in der chemischen Beschaffenheit ihrer Oberfläche, wenn auch in dem Gehalt an einzelnen Elementen Unterschiede bestehen.

Aber wir finden im Weltenraume auch ein drittes Stadium, das der erloschenen Sonnen; auch dafür sind die thatsächlichen Belege da. Erstens sind im Laufe der Geschichte ziemlich häufige Beispiele von auftauchenden neuen Sternen vorgekommen. 1572 beobachtete Tycho de Brahe einen solchen, der allmälig erblassend zwei Jahre lang sichtbar blieb, fest stand, wie ein Fixstern, und endlich in das Dunkel zurückkehrte, aus dem er so plötzlich aufgetaucht war. Der grösste unter allen scheint der im Jahre 1604 von Kepler beobachtete gewesen zu sein, der heller als ein Stern erster Grösse war, und vom 27. September 1604 bis März 1606 beobachtet wurde. Vielleicht war der Grund ihres Aufleuchtens ein Zusammenstoss mit einem kleineren Weltkörper. In einem neueren Falle, wo am 12. Mai 1866 ein kleiner Stern zehnter Grösse in der Corona schnell zu einem zweiter Grösse aufleuchtete, war es, wie die Spectralanalyse lehrte, ein Ausbruch glühenden Wasserstoffgases gewesen, welcher das Licht erzeugte. Dieser leuchtete nur 12 Tage.

In anderen Fällen haben sich die dunkeln Weltkörper verrathen durch ihre Anziehungskraft auf benachbarte helle Sterne, und die dadurch bedingten Bewegungen der letzteren. Solchen Einfluss beobachtete man am Sirius und Procyon. Im Falle des

Digitized by Google

Sirius ist wirklich 1862 mit einem neuen Refractor im amerikanischen Cambridge von den Herren Alvan Clarke und Pond ein kaum sichtbarer Stern gefunden worden, welcher zwar sehr geringe Leuchtkraft hat, aber beinahe sieben Mal schwerer ist als unsere Sonne, etwa halb so grosse Masse hat als Sirius, und dessen Entfernung vom Sirius etwa der des Neptun von der Sonne gleichkommt. Der Begleiter des Procyon dagegen ist noch nicht mit Augen gesehen worden, er scheint ganz dunkel zu sein.

Auch erloschene Sonnen! Die Thatsache, dass solche existiren, giebt den Gründen neues Gewicht, welche uns schliessen liessen, dass auch unsere Sonne ein Körper ist, der den einwohnenden Wärmevorrath langsam ausgiebt und also einst erlöschen wird.

Die Frist, die ich vorher angegeben habe, von 17 Millionen Jahren wird vielleicht noch beträchtlich verlängert werden können durch allmäligen Nachlass der Strahlung, durch neuen Zuschuss von hineinstürzenden Meteoren, durch noch weitere Verdichtung, als ich sie bei jener Berechnung angenommen habe. Aber wir kennen bisher keinen Naturprocess, der unserer Sonne das Schicksal ersparen könnte, welches andere Sonnen offenbar schon getroffen hat. Es ist dies ein Gedanke, dem wir uns nur mit Widerstreben hingeben; er erscheint uns wie eine Verletzung der wohlthätigen Schöpferkraft, die wir sonst in allen, namentlich die lebenden Wesen betreffenden Verhältnissen wirksam finden. Aber wir müssen uns eben in den Gedanken finden lernen, dass wir, die wir uns gern als den Mittelpunkt und Endzweck der Schöpfung betrachten möchten, Stäubchen sind auf der Erde, die selbst ein Stäubchen ist im ungeheuren Weltraume, und dass die bisherige Dauer unseres Geschlechtes, wenn wir sie auch über die geschriebene Geschichte weit hinaus zurück verfolgen bis in die Zeiten der Pfahlbauten oder der Mammuths, doch nur ein Augenblick ist verglichen mit den Urzeiten unseres Planeten, wo lebende Wesen auf ihm gehaust haben, deren Reste uns noch aus ihren alten Gräbern fremdartig und unheimlich anschauen. Aber noch viel mehr verschwindet die Dauer der Menschengeschichte im Verhältniss zu den ungeheuren Zeiträumen, während welcher Welten sich gebildet haben und auch wohl noch fortfahren werden sich zu bilden, wenn unsere Sonne erloschen ist und unsere Erde, sei es in Kälte erstarrt oder mit dem glühenden Centralkörper unseres Systemes vereinigt ist.

Aber wer weiss zu sagen, ob die ersten lebenden Bewohner des warmen Meeres auf der jugendlichen Erde, die wir vielleicht

Digitized by Google

als unsere Stammeltern verehren müssen, den jetzigen kühleren Zustand nicht mit ebenso viel Grauen betrachten würden, wie wir eine Welt ohne Sonne? Wer weiss zu sagen, zu welcher Stufe der Vollendung bei dem wunderbaren Anpassungsvermögen an die Bedingungen des Lebens, welches allen Organismen zukommt, unsere Nachkommen nach 17 Millionen Jahren sich ausgebildet haben werden; ob unsere Knochenreste ihnen nicht vielleicht ebenso ungeheuerlich vorkommen möchten, wie die der Ichthyosauren uns jetzt, und ob sie, eingerichtet für ein feineres Gleichgewicht, nicht die Temperaturextreme, zwischen denen wir uns bewegen, für ebenso gewaltsam und zerstörend halten werden, wie uns die der ältesten geologischen Perioden erscheinen würden. Ja, wenn Erde und Sonne regungslos erstarren sollten, wer weiss zu sagen, welche neue Welten bereit sein werden, Leben aufzunehmen. Die Meteorsteine enthalten zuweilen Kohlenwasserstoffverbindungen; das eigene Licht der Kometenköpfe zeigt ein Spectrum, welches dem des elektrischen Glimmlichtes in kohlenwasserstoffhaltigen Gasen am ähnlichsten ist. Kohlenstoff aber ist das für die organischen Verbindungen, aus denen die lebenden Körper aufgebaut sind, charakteristische Element. Wer weiss zu sagen, ob diese Körper, die überall den Weltraum durchschwärmen, nicht auch Keime des Lebens ausstreuen, so oft irgendwo ein neuer Weltkörper fähig geworden ist organischen Geschöpfen eine Wohnstätte zu gewähren[1]). Und dieses Leben würden wir sogar vielleicht dem unserigen im Keime verwandt halten dürfen, in so abweichenden Formen es sich auch den Zuständen seiner neuen Wohnstätte anpassen möchte.

Aber wie es damit auch sein möge, was unser sittliches Gefühl bei dem Gedanken eines einstigen, wenn noch so fernen Unterganges der lebenden Schöpfung auf dieser Erde aufregt, ist vorzugsweise die Frage, ob all dies Leben nur ein zielloses Spiel sei, was endlich wieder der Zerstörung durch rohe Gewalt anheimfallen werde. Wir beginnen einzusehen unter dem Lichte von Darwin's grossen Gedanken, dass nicht bloss Lust und Freude, sondern auch Schmerz, Kampf und Tod die mächtigen Mittel sind, durch welche die Natur ihre feineren und vollendeteren Lebensformen herausbildet. Und wir Menschen insbesondere wissen, dass wir in unserer Intelligenz, staatlichen Ordnung, Gesittung von dem Erbtheil zehren, welches unsere Vorfahren durch Arbeit, Kampf und

---

[1]) Ueber einen sich daran knüpfenden Streit siehe unten S. 347 dieses Bandes.

Digitized by Google

Opfermuth uns erworben haben, und dass, was wir in gleichem Sinne erringen, das Leben unserer Nachkommen veredeln wird. So kann der Einzelne, der für die idealen Zwecke der Menschheit, wenn auch an bescheidener Stelle und in engem Wirkungskreise arbeitet, den Gedanken, dass der Faden seines eigenen Bewusstseins einst abreissen wird, ohne Furcht ertragen. Aber mit dem Gedanken an eine endliche Vernichtung des Geschlechts der Lebenden und damit aller Früchte des Strebens aller vergangenen Generationen konnten auch Männer von so freier und grosser Gesinnung, wie Lessing und David Strauss, sich nicht versöhnen.

Bisher kennen wir noch keine durch wissenschaftliche Beobachtung feststellbare Thatsache, welche uns anzeigte, dass die feine und verwickelte Bewegungsform des Lebens anders als an dem schweren Stoffe des organischen Körpers bestehen, dass sie sich in ähnlicher Weise verpflanzen könnte, wie die Schallbewegung einer Saite ihre ursprüngliche enge und feste Wohnung verlassen und sich im Luftmeere ausbreiten kann, und dabei doch ihre Tonhöhe und die feinsten Eigenthümlichkeiten ihrer Klangfarbe bewahrt, und gelegentlich auch, wo sie eine andere gleichgestimmte Saite trifft, in diese wieder einzieht, oder eine zum Singen bereite Flamme zu gleichgestimmter Tönung erregt. Auch die Flamme, dieses ähnlichste Abbild des Lebens unter den Vorgängen der leblosen Natur, kann erlöschen, aber die von ihr erzeugte Wärme besteht weiter, unzerstörbar und unvergänglich, als unsichtbare Bewegung, bald die Molekeln wägbaren Stoffes erschütternd, bald als Aetherschwingung hinausstrahlend in die unbegrenzten Tiefen des Raumes. Und auch dann noch bewahrt sie die charakteristischen Eigenthümlichkeiten ihres Ursprungs, und dem Beobachter, der sie durch das Spectroskop befragt, erzählt sie ihre Geschichte. Neu vereinigt aber können ihre Strahlen eine neue Flamme entzünden, und so gleichsam neues körperliches Leben gewinnen.

Wie die Flamme dem Anscheine nach dieselbe bleibt, und in derselben Gestalt und Beschaffenheit weiter besteht, trotzdem sie in jedem Augenblick neu hinzutretende verbrennliche Dämpfe und neuen Sauerstoff der Atmosphäre in den Strudel ihres aufsteigenden Luftstromes hineinzieht, und wie die Welle forteilt in unveränderter Form und doch in jedem Augenblick sich aus neuen Wassertheilchen aufbaut, so ist auch in den lebenden Wesen nicht die bestimmte Masse des Stoffes, die jetzt den Körper zusammensetzt, dasjenige, an dem das Fortbestehen der Individualität haftet.

Digitized by Google

Denn das Material des Körpers ist wie das der Flamme fortdauerndem und verhältnissmässig schnellem Wechsel unterworfen, desto schnellerem, je lebhafter die Lebensthätigkeit der betreffenden Organe ist. Einige Bestandtheile des Körpers sind nach Tagen, andere nach Monaten, andere nach Jahren erneuert. Was als das besondere Individuum fortbesteht, ist wie bei der Flamme und bei der Welle nur die Bewegungsform, welche unablässig neuen Stoff in ihren Wirbel hineinzieht und den alten wieder ausstösst. Der Beobachter mit taubem Ohre kennt die Schallschwingung nur, so lange sie sichtbar und fühlbar an schwererem Stoff haftet. Sind unsere Sinne dem Leben gegenüber hierin dem tauben Ohre ähnlich?

Digitized by Google

OPTISCHES ÜBER MALEREI.

Umarbeitung

von

Vorträgen, die in Berlin, Düsseldorf und Cöln in den Jahren 1871 bis 1873 gehalten worden sind.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

Ich fürchte, dass meine Ankündigung, über einen Zweig der bildenden Kunst sprechen zu wollen, bei manchen meiner Zuhörer ein gewisses Befremden erregt hat. In der That muss ich voraussetzen, dass Viele unter Ihnen sich reichere Anschauungen von Kunstwerken eingesammelt, eingehendere kunsthistorische Studien gemacht haben, als ich für mich in Anspruch nehmen kann, oder dass sie sogar in eigenhändiger Ausübung der Kunst sich praktische Erfahrung erworben haben, welche mir gänzlich abgeht. Ich bin zu meinen Kunststudien auf einem wenig betretenen Umwege, nämlich durch die Physiologie der Sinne, gelangt und kann also denen gegenüber, welche schon längst wohl bekannt und wohl bewandert in dem schönen Lande der Kunst sind, mich nur mit einem Wanderer vergleichen, der seinen Eintritt über ein steiles und steiniges Grenzgebirge gemacht, dabei aber auch manchen Aussichtspunkt erreicht hat, von dem herab sich eine gute Ueberschau darbot. Wenn ich Ihnen also berichte, was ich erkannt zu haben glaube, so geschieht es meinerseits unter dem Vorbehalte, jeder Belehrung durch Erfahrenere zugänglich bleiben zu wollen.

In der That bietet das physiologische Studium der Art und Weise, wie unsere Sinneswahrnehmungen zu Stande kommen, wie die von aussen kommenden Eindrücke in unseren Nerven verlaufen, wie der Zustand der letzteren selbst dadurch verändert wird, mannigfache Berührungspunkte mit der Theorie der schönen Künste. Ich habe bei einer früheren Gelegenheit versucht solche Beziehungen zwischen der Physiologie des Gehörsinns und der Theorie der Musik darzulegen. Da sind dieselben besonders auffällig und deutlich, weil die elementaren Formen der musikalischen Gestaltung viel reiner von dem Wesen und den Eigenthümlichkeiten unserer Empfindungen abhängen, als dies in den übrigen Künsten

Digitized by Google

der Fall ist, bei denen die Art des zu verwendenden Materials und der darzustellenden Gegenstände sich viel einflussreicher geltend macht. Doch ist auch in diesen anderen Zweigen der Kunst die besondere Empfindungsweise desjenigen Sinnesorgans, durch welches der Eindruck aufgenommen wird, nicht ohne Bedeutung, und die theoretische Einsicht in die Leistungen derselben und in die Motive ihres Verfahrens wird nicht vollständig sein können, wenn man dieses physiologische Element nicht berücksichtigt. Nächst der Musik scheint es mir in der Malerei besonders hervorzutreten, und dies ist der Grund, warum ich mir die Malerei heute zum Gegenstande meines Vortrags gewählt habe.

Der nächste Zweck des Malers ist, durch seine farbige Tafel in uns eine lebhafte Gesichtsanschauung derjenigen Gegenstände hervorzurufen, die er darzustellen versucht hat. Es handelt sich also darum eine Art optischer Täuschung zu Stande zu bringen, nicht zwar in dem Maasse, dass wir wie die Vögel, die an den gemalten Weinbeeren des Apelles pickten, glauben sollen, es sei in Wirklichkeit nicht das Gemälde, sondern es seien die dargestellten Gegenstände vorhanden, aber doch in so weit, dass die künstlerische Darstellung in uns eine Vorstellung dieser Gegenstände hervorrufe, so lebensvoll und sinnlich kräftig, als hätten wir sie in Wirklichkeit vor uns. Das Studium der sogenannten Sinnestäuschungen ist aber ein hervorragend wichtiger Theil der Physiologie der Sinne, weil gerade solche Fälle, wo äussere Eindrücke in uns Vorstellungen erregen, die der Wirklichkeit nicht entsprechen, besonders lehrreich sind für die Auffindung der Gesetze derjenigen Vorgänge und Mittel, durch welche die normalen Wahrnehmungen zu Stande kommen. Wir müssen die Künstler als Individuen betrachten, deren Beobachtung sinnlicher Eindrücke vorzugsweise fein und genau, deren Gedächtniss für die Bewahrung der Erinnerungsbilder solcher Eindrücke vorzugsweise treu ist. Was die in dieser Hinsicht bestbegabten Männer in langer Ueberlieferung und durch zahllose nach allen Richtungen hin gewendete Versuche an Mitteln und Methoden der Darstellung gefunden haben, bildet eine Reihe wichtiger und bedeutsamer Thatsachen, welche der Physiolog, der hier vom Künstler zu lernen hat, nicht vernachlässigen darf. Namentlich über die Frage, welche Theile und Verhältnisse unserer Gesichtseindrücke es vorzugsweise sind, die unsere Vorstellung von dem Gesehenen bestimmen, welche andere dagegen zurücktreten, wird das Studium der Kunstwerke wichtige Aufschlüsse geben können. Erstere wird der Künstler, soweit es inner-

Digitized by Google

halb der Schranken seines Thuns möglich ist, zu bewahren suchen müssen auf Kosten der letzteren.

In diesem Sinne wird aufmerksame Betrachtung der Werke grosser Meister ebenso der physiologischen Optik, als die Aufsuchung der Gesetze der Sinnesempfindungen und sinnlichen Wahrnehmungen der Theorie der Kunst, d. h. dem Verständniss ihrer Wirkungen, förderlich sein können.

Allerdings handelt es sich bei diesen Untersuchungen nicht um eine Besprechung der letzten Aufgaben und Ziele der Kunst, sondern nur um eine Erörterung der Wirksamkeit der elementaren Mittel, mit denen sie arbeitet. Aber selbstverständlich wird die Kenntniss der letzteren die unumgängliche Grundlage auch für die Lösung der tiefer eindringenden Fragen bilden müssen, wenn man die Aufgaben, welche die Künstler zu lösen haben, und die Wege, auf welchen sie ihr Ziel zu erreichen suchen, verstehen will.

Ich brauche auch wohl nicht hervorzuheben, weil es sich nach dem Gesagten von selbst versteht, dass es meine Absicht nicht ist Vorschriften zu finden, nach denen die Künstler handeln sollten. Ich halte es überhaupt für ein Missverständniss, dass irgend welche ästhetische Untersuchungen dies jemals leisten könnten, aber es ist ein Missverständniss, welches diejenigen, die nur für praktische Ziele Sinn haben, sehr gewöhnlich begehen.

I. Die Formen.

Der Maler sucht im Gemälde ein Bild äusserer Gegenstände zu geben. Die erste Aufgabe unserer Untersuchung wird sein nachzusehen, welchen Grad und welche Art von Aehnlichkeit er denn überhaupt erreichen kann, und welche Grenzen ihm darin durch die Natur seines Verfahrens gesteckt sind. Der ungebildete Beschauer verlangt in der Regel Nichts, als täuschende Naturwahrheit; je mehr diese erreicht ist, desto mehr ergötzt er sich an dem Gemälde. Ein Beschauer dagegen, der seinen Geschmack an Kunstwerken feiner ausgebildet hat, wird, sei es bewusst oder unbewusst, Mehr und Anderes verlangen. Er wird eine getreue Copie roher Natur höchstens als ein Kunststück betrachten. Um ihn zu befriedigen wird eine künstlerische Auswahl, Anordnung und selbst

Digitized by Google

Idealisirung der dargestellten Gegenstände nöthig sein. Die menschlichen Figuren im Kunstwerk werden nicht die alltäglicher Menschen sein dürfen, wie wir sie auf Photographien sehen, sondern ausdrucksvoll und charakteristisch entwickelte, wo möglich schöne Gestalten, die vielleicht keinem lebenden oder gelebt habenden Individuum angehören, sondern nur einem solchen, wie es leben könnte, und wie es sein müsste, um irgend eine Seite des menschlichen Wesens in recht voller und ungestörter Entwickelung zur lebendigen Anschauung zu bringen.

Wenn aber auch der Künstler nur solche idealisirte Typen, sei es von Menschen, sei es von anderen Naturobjecten, in ausgewählter Anordnung darzustellen hat, sollte das Gemälde nicht wenigstens eine wirklich vollkommen und unmittelbar getreue Abbildung derselben sein müssen, wie sie erscheinen würden, wenn sie irgendwo und wann in das Leben träten?

Diese getreue Abbildung kann, da das Gemälde auf ebener Fläche auszuführen ist, selbstverständlich nur eine getreue perspectivische Ansicht der darzustellenden Objecte sein. Indessen unser Auge, welches seinen optischen Leistungen nach einer Camera obscura, dem bekannten Instrumente der Photographen, gleich steht, giebt auf der Netzhaut, die seine lichtempfindliche Platte ist, auch nur perspectivische Ansichten der Aussenwelt, welche feststehen, wie die Zeichnung auf einem Gemälde, so lange der Standpunkt des sehenden Auges nicht verändert wird. Und so kann man denn in der That, wenn wir zunächst bei den Formen der gesehenen Gegenstände stehen bleiben und von der Betrachtung der Farben vorläufig absehen, durch eine richtig ausgeführte perspectivische Zeichnung einem Auge des Beschauers, welches sie von einem richtig gewählten Standpunkte aus betrachtet, dieselben Formen des Gesichtsbildes zeigen, wie die Betrachtung der dargestellten Objecte von entsprechendem Standpunkte aus demselben Auge gewähren würde.

Aber abgesehen davon, dass jede Bewegung des Beobachters, wobei sein Auge den Ort ändert, andere Verschiebungen des gesehenen Netzhautbildes hervorbringen wird, wenn er vor den Objecten, als wenn er vor dem Gemälde steht, so konnte ich soeben nur immer von einem Auge des Beschauers sprechen, für welches die Gleichheit des Eindrucks herzustellen ist; wir sehen aber die Welt mit zwei Augen an, welche etwas verschiedene Orte im Raume einnehmen und für welche sich deshalb die vor uns befindlichen Gegenstände in zwei etwas verschiedenen perspectivischen Ansich-

Digitized by Google

ten zeigen. Gerade in dieser Verschiedenheit der Bilder beider Augen liegt eines der wichtigsten Momente zur richtigen Beurtheilung der Entfernung der Gegenstände von unserem Auge und ihrer nach der Tiefe des Raumes hin sich erstreckenden Ausdehnung und gerade dieses fehlt dem Maler oder kehrt sich selbst wider ihn, indem bei zweiäugigem Sehen das Gemälde sich unserer Wahrnehmung unzweideutig als ebene Tafel aufdrängt.

Sie werden Alle die wunderbare Lebendigkeit kennen, welche die körperliche Form der dargestellten Gegenstände bei der Betrachtung guter stereoskopischer Bilder im Stereoskop gewinnt, eine Art der Lebendigkeit, welche jedem einzelnen dieser Bilder, ausserhalb des Stereoskops gesehen, nicht zukommt. Am auffallendsten und lehrreichsten ist die Täuschung an einfachen Linienfiguren, Krystallmodellen und dergleichen, bei denen jedes andere Moment der Täuschung wegfällt. Der Grund für diese Täuschung durch das Stereoskop liegt eben darin, dass wir mit zwei Augen sehend die Welt gleichzeitig von etwas verschiedenen Standpunkten betrachten und dadurch zwei etwas verschiedene perspectivische Bilder derselben gewinnen. Wir sehen mit dem rechten Auge von der rechten Seite eines vor uns liegenden Objectes etwas mehr und auch von den rechts hinter ihm liegenden Gegenständen etwas mehr als mit dem linken Auge, und umgekehrt mit diesem mehr von der linken Seite jedes Objects und von dem hinter seinem linken Rande liegenden, theilweise verdeckten Hintergrunde. Ein flaches Gemälde aber zeigt dem rechten Auge absolut dasselbe Bild und alle darauf dargestellten Gegenstände ebenso wie dem linken. Verfertigt man dagegen für jedes Auge ein anderes Bild, wie das betreffende Auge nach dem Gegenstande selbst blickend es sehen würde, und combinirt beide Bilder im Stereoskop, so dass jedes Auge das ihm zukommende Bild sieht, so entsteht, was die Formen des Gegenstandes betrifft, genau derselbe sinnliche Eindruck in beiden Augen, wie ihn dieser selbst geben würde. Indem wir mit beiden Augen dagegen nach einer Zeichnung oder einem Gemälde sehen, erkennen wir ebenso sicher, dass dies eine Darstellung auf ebener Fläche sei, unterschieden von derjenigen, die der wirkliche Gegenstand beiden Augen zugleich zeigen würde. Daher die bekannte Steigerung der Lebendigkeit eines Gemäldes, wenn man es nur mit einem Auge betrachtet, und zugleich still stehend und durch eine dunkle Röhre blickend die Vergleichung seiner Entfernung mit der anderer benachbarter Gegenstände des Zimmers ausschliesst. Zu bemerken ist nämlich, dass, wie man gleichzeitig

Digitized by Google

mit beiden Augen gesehene verschiedene Bilder zur Tiefenwahrnehmung benutzt, so auch die bei Bewegungen des Körpers nach einander von verschiedenen Orten aus gesehenen Bilder desselben Auges zu demselben Zwecke dienen. So wie man sich bewegt, sei es gehend, sei es fahrend, verschieben sich die näheren Gegenstände scheinbar gegen die ferneren; jene scheinen rückwärts zu eilen, diese mit uns zu gehen. Dadurch kommt eine viel bestimmtere Unterscheidung des Nahen und Fernen zu Stande, als uns das einäugige Sehen von unveränderter Stelle aus jemals gewähren kann. Wenn wir uns aber dem Gemälde gegenüber bewegen, so drängt sich uns eben deshalb stärker die sinnliche Wahrnehmung auf, dass es eine ebene Tafel, an der Wand hängend, sei, als wenn wir es stillstehend betrachten. Einem entfernteren grossen Gemälde gegenüber werden alle diese Momente, welche im zweiäugigen Sehen und in der Bewegung des Körpers liegen, unwirksamer, weil bei sehr entfernten Objecten die Unterschiede zwischen den Bildern beider Augen oder zwischen den Ansichten von benachbarten Standpunkten aus kleiner werden. Grosse Gemälde geben deshalb eine weniger gestörte Anschauung ihres Gegenstandes, als kleine, während doch der Eindruck auf das einzelne ruhende unbewegte Auge von einem kleinen nahen Gemälde genau der gleiche sein könnte, wie von einem grossen und fernen. Nur drängt sich bei dem nahen die Wirklichkeit, dass es eine ebene Tafel sei, fortdauernd viel kräftiger und deutlicher unserer Wahrnehmung auf.

Hiermit hängt es auch, wie ich glaube, zusammen, dass perspectivische Zeichnungen, die von einem dem Gegenstande zu nahen Standpunkte aus aufgenommen sind, so leicht einen verzerrten Eindruck machen. Dabei wird nämlich der Mangel der zweiten für das andere Auge bestimmten Darstellung, welche stark abweichen würde, zu auffallend. Dagegen geben sogenannte geometrische Projectionen, d. h. perspectivische Zeichnungen, welche eine aus unendlich grosser Entfernung genommene Ansicht darstellen, in vielen Fällen eine besonders günstige Anschauung der Objecte, obgleich sie einer in Wirklichkeit nicht vorkommenden Weise ihres Anblicks entsprechen. Für solche nämlich sind die Bilder beider Augen einander gleich.

Sie sehen, dass in diesen Verhältnissen eine erste nicht zu beseitigende Incongruenz zwischen dem Anblick eines Gemäldes und dem Anblicke der Wirklichkeit besteht. Dieselbe kann wohl abgeschwächt, aber nicht vollkommen überwunden werden. Durch die mangelnde Wirkung des zweiäugigen Sehens fällt zugleich das

Digitized by Google

wichtigste natürliche Mittel fort, um den Beschauer die Tiefe der dargestellten Gegenstände im Gemälde beurtheilen zu machen. Es bleiben dem Maler nur eine Reihe untergeordneter Hilfsmittel übrig, theils von beschränkter Anwendbarkeit, theils von geringer Wirksamkeit, um die verschiedenen Abstände nach der Tiefe auszudrücken. Es ist nicht uninteressant diese Momente, wie sie sich aus der wissenschaftlichen Theorie ergeben, kennen zu lernen, da dieselben offenbar auch in der malerischen Praxis einen grossen Einfluss auf die Anordnung, Auswahl, Beleuchtungsweise der darzustellenden Gegenstände ausgeübt haben. Die Deutlichkeit des Dargestellten ist allerdings den idealen Zwecken der Kunst gegenüber scheinbar nur eine untergeordnete Rücksicht, aber man darf ihre Wichtigkeit nicht unterschätzen, denn sie ist die erste Bedingung, um mühelose und sich dem Beschauer gleichsam aufdrängende Verständlichkeit der Darstellung zu erreichen. Diese unmittelbare Verständlichkeit aber ist wiederum die Vorbedingung für eine ungestörte und lebendige Wirkung des Gemäldes auf das Gefühl und die Stimmung des Beobachters.

Die erwähnten untergeordneten Hilfsmittel für den Ausdruck der Tiefendimensionen liegen zunächst in den Verhältnissen der Perspective. Nähere Gegenstände verdecken theilweise fernere, können aber nie von letzteren verdeckt werden. Gruppirt der Maler daher seine Gegenstände geschickt, so dass das genannte Moment in Geltung kommt, so giebt dies schon eine sehr sichere Abstufung zwischen Näherem und Fernerem. Dieses gegenseitige Verdecken ist sogar im Stande die zweiäugige Tiefenwahrnehmung zu besiegen, wenn man absichtlich stereoskopische Bilder herstellt, in welchen Beides einander widerspricht. Ferner sind an Körpern von regelmässiger oder bekannter Gestalt die Formen der perspectivischen Projection meist charakteristisch auch für die Tiefenausdehnung, die dem Gegenstande zukommt. Wenn wir Häuser oder andere Producte des menschlichen Kunstfleisses sehen, so wissen wir von vornherein, dass ihre Formen überwiegend ebene rechtwinkelig gegen einander gestellte Grenzflächen haben, allenfalls verbunden mit Theilen von drehrunden und kugelrunden Flächen. Und, in der That, wenn wir nur soviel wissen, genügt in der Regel eine richtige perspectivische Zeichnung, um daraus die gesammte Körperform unzweideutig zu erkennen. Ebenso für Gestalten von Menschen und Thieren, welche uns wohl bekannt sind, und deren Körper ausserdem zwei symmetrische seitliche Hälften zeigt. Dagegen nützt die beste perspectivische Darstellung nicht viel bei ganz unregel-

Digitized by Google

mässigen Formen, rohen Stein- und Eisblöcken, Laubmassen durcheinander geschobener Baumwipfel, wie am besten photographische Bilder von solchen zeigen, in denen Perspective und Schattirung absolut richtig sein können und doch der Eindruck undeutlich und wirr.

Werden menschliche Wohnungen in einem Gemälde sichtbar, so bezeichnen sie dem Zuschauer namentlich auch die Richtung der Horizontalflächen an der Stelle, wo sie stehen, und im Vergleich dazu die Neigung des Terrains, welche ohne sie oft schwer auszudrücken ist.

Weiter kommt in Betracht die scheinbare Grösse, in der Gegenstände von bekannter wirklicher Grösse in den verschiedenen Theilen eines Gemäldes erscheinen. Menschen und Thiere, auch Bäume bekannter Art, dienen dem Maler in dieser Weise. In dem entfernteren Mittelgrunde der Landschaft erscheinen sie kleiner als im Vordergrunde, und so geben sie andererseits durch ihre scheinbare Grösse einen Maasstab für die Entfernung des Ortes, wo sie sich befinden.

Weiter sind von hervorragender Wichtigkeit die Schatten, und namentlich die Schlagschatten. Wie viel deutlichere Anschauung eine gut schattirte Zeichnung giebt als ein Linienumriss, werden Sie alle wissen; eben deshalb ist die Kunst der Schattirung eine der schwierigsten und wirksamsten Seiten in der Leistungsfähigkeit des Zeichners und Malers. Er hat die ausserordentlich feinen Abstufungen und Uebergänge der Beleuchtung und Beschattung auf gerundeten Flächen nachzuahmen, welche das Hauptmittel sind, um die Modellirung derselben mit allen ihren feinen Krümmungsänderungen auszudrücken, er muss dabei die Ausbreitung oder Beschränkung der Lichtquelle, die gegenseitigen Reflexe der Flächen auf einander berücksichtigen. Vorzugsweise wirksam sind auch die Schlagschatten. Während die Modificationen der Beleuchtung an den Körperflächen selbst oft zweideutig sind, ein Hohlabguss einer Medaille bei bestimmter Beleuchtung z. B. den Eindruck vorspringender Formen machen kann, die nur von der anderen Seite her beleuchtet sind: so sind dagegen die Schlagschatten unzweideutige Anzeichen, dass der schattenwerfende Körper der Lichtquelle näher liegt, als der, welcher den Schatten empfängt. Diese Regel ist so ausnahmslos, dass selbst in stereoskopischen Ansichten ein falsch gelegter Schlagschatten die ganze Täuschung aufheben oder in Verwirrung bringen kann.

Um die Schatten in ihrer Bedeutung gut benutzen zu können, ist nicht jede Beleuchtung gleich günstig. Wenn der Beschauer in derselben Richtung auf die Gegenstände sieht, wie das Licht auf

Digitized by Google

sie fällt, so sieht er nur ihre beleuchteten Seiten, und nichts vom Schatten; dann fällt fast die ganze Modellirung weg, welche die Schatten geben könnten. Steht der Gegenstand zwischen der Lichtquelle und dem Beschauer, so sieht dieser nur die Schatten. Also brauchen wir seitliche Beleuchtung für eine malerisch wirksame Beschattung, und namentlich über Flächen, die wie die Oberfläche ebenen oder hügeligen Landes nur schwach bewegte Formen zeigen, eine fast in der Richtung der Fläche streifende Beleuchtung, weil nur eine solche überhaupt noch Schatten giebt. Dies ist eine der Ursachen, welche die Beleuchtung durch die aufgehende und untergehende Sonne so wirksam machen. Die Formen der Landschaft werden deutlicher. Dazu kommt dann freilich noch der später zu besprechende Einfluss der Farben und des Luftlichtes.

Directe Beleuchtung von der Sonne oder einer Flamme macht die Schatten scharf begrenzt und hart. Beleuchtung von einer sehr breiten leuchtenden Fläche, wie vom wolkigen Himmel aus, macht sie verwaschen oder beseitigt sie fast ganz. Dazwischen giebt es Uebergänge; Beleuchtung durch ein Stück der Himmelsfläche, abgegrenzt durch ein Fenster oder Bäume u. s. w. lässt die Schatten je nach der Art des Gegenstandes in erwünschter Weise mehr oder weniger hervortreten. Wie wichtig das ist, werden Sie bei den Photographen gesehen haben, die ihr Licht durch allerlei Schirme und Vorhänge abgrenzen müssen, um gut modellirte Portraits zu erhalten.

Viel wichtiger aber als die bisher aufgezählten Momente für die Darstellung der Tiefenausdehnung, welche mehr von localer und zufälliger Bedeutung sind, ist die sogenannte Luftperspective. Darunter versteht man die optische Wirkung des Lichtscheines, den die zwischen dem Beschauer und entfernten Gegenständen liegenden beleuchteten Luftmassen geben. Dieser Schein rührt von einer nie ganz schwindenden feinen Trübung der Atmosphäre her. Sind in einem durchsichtigen Mittel feine durchsichtige Theilchen von abweichender Dichtigkeit und abweichendem Lichtbrechungsvermögen vertheilt, so lenken sie das durch ein solches Mittel hindurchgehende Licht, so weit sie davon getroffen werden, theils durch Zurückwerfung, theils durch Brechung von seinem geradlinigen Wege ab und zerstreuen es, wie es die Optik ausdrückt, nach allen Seiten hin. Sind die trübenden Partikelchen sparsam vertheilt, so dass ein grosser Theil des Lichtes zwischen ihnen durchgehen kann, ohne abgelenkt zu werden, so sieht man ferne Gegenstände noch in guten und deutlichen Umrissen durch

Digitized by Google

ein solches Medium, daneben aber auch einen Theil des Lichtes, nämlich den abgelenkten, als trübenden Lichtschein in der durchsichtigen Substanz selbst verbreitet. Wasser, welches durch wenige Tropfen Milch getrübt ist, zeigt eine solche Zerstreuung des Lichtes und nebelige Trübung sehr deutlich. Die mikroskopischen Tröpfchen des Butterfettes, die in der Milch schwimmen, sind es hier, die das Licht ablenken.

In der gewöhnlichen Luft unserer Zimmer wird die Trübung bekanntlich deutlich sichtbar, wenn wir das Zimmer schliessen und einen Sonnenstrahl durch eine enge Oeffnung eintreten lassen. Wir sehen dann die Sonnenstäubchen, theils grössere für unser Auge wahrnehmbare, theils eine feine nicht auflösbare Trübung. Aber auch die letztere muss der Hauptsache nach von schwebenden Staubtheilchen organischer Stoffe herrühren, denn sie kann nach einer Bemerkung von Tyndall verbrannt werden. Bringt man eine Spiritusflamme dicht unter den Weg der Sonnenstrahlen, so zeichnet die von der Flamme aufsteigende Luft ihren Weg ganz dunkel in die helle Trübung hinein; das heisst: die durch die Flamme aufsteigende Luft ist vollkommen staubfrei geworden. Im Freien kommt neben dem Staub oder gelegentlichem Rauch auch die Trübung durch beginnende Wasserniederschläge häufig in Betracht, wo die Temperatur feuchter Luft so weit sinkt, dass die in ihr enthaltene Wassermenge nicht mehr als unsichtbarer Dunst bestehen kann. Dann scheidet sich ein Theil des Wassers in Form feinster Tröpfchen (Bläschen?) aus, als eine Art feinsten Wasserstaubes, und bildet feinere oder dichtere Nebel, beziehlich Wolken. Die Trübung, welche bei heissem Sonnenschein und trockener Luft entsteht, mag theils von Staub herrühren, den die aufsteigenden warmen Luftströme aufwirbeln, theils von der unregelmässigen Durchmischung kühlerer und wärmerer Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit, wie sie sich auch in dem Zittern der unteren Luftschichten über sonnenbestrahlten Flächen verräth. Wovon endlich die auch in der reinsten und trockenen Luft der höheren Schichten der Atmosphäre zurückbleibende Trübung herrührt, welche das Blau des Himmels hervorbringt, ob wir es auch da mit schwebenden Stäubchen fremder Substanzen zu thun haben, oder ob die Molekeln der Luft selbst als trübende Theilchen im Lichtäther wirken, darüber weiss die Wissenschaft noch keine sichere Auskunft zu geben.

Was nun die Farbe des durch die trübenden Theilchen zurückgeworfenen Lichtes betrifft, so hängt diese wesentlich von der

Digitized by Google

Grösse derselben ab. Wenn ein Scheit Holz im Wasser schwimmt, und wir in seiner Nähe durch einen fallenden Tropfen kleine Wellenringe erregen, so werden diese von dem schwimmenden Holz zurückgeworfen, als wäre es eine feste Wand. In den langen Meereswogen aber würde ein Scheit Holz mitgeschaukelt werden, ohne dass die Wellen dadurch merklich in ihrem Fortschreiten gestört werden. Nun ist das Licht bekanntlich auch eine wellenartig sich ausbreitende Bewegung in dem den Weltraum füllenden Aether. Die rothen und gelben Lichtstrahlen haben die längsten Wellen, die violetten und blauen die kürzesten. Sehr feine Körperchen, welche die Gleichmässigkeit des Aethers stören, werden daher merklicher die letztgenannten Strahlen zurückwerfen als die rothen und gelben. In der That ist das Licht trüber Medien desto blauer, je feiner die trübenden Theilchen, während grössere Theilchen gleichmässiger Licht jeder Farbe zurückwerfen und deshalb weisslichere Trübung geben. Solcher Art ist das Blau des Himmels, das heisst der trüben Atmosphäre, gesehen gegen den dunklen Weltraum. Je reiner und durchsichtiger die Luft ist, desto blauer ist der Himmel. Ebenso wird er blauer und dunkler, wenn man auf hohe Berge steigt, theils weil die Luft in der Höhe freier von Trübung ist, theils weil man überhaupt weniger Luft noch über sich hat. Aber dasselbe Blau, was man vor dem dunklen Weltraume erscheinen sieht, tritt auch vor dunklen irdischen Objecten, z. B. fernen beschatteten oder bewaldeten Bergen auf, wenn eine tiefe Schicht beleuchteter Luft zwischen ihnen und uns liegt. Es ist dasselbe Luftlicht, was den Himmel, wie die Berge blau macht, nur dass es vor ersterem rein, vor letzteren mit anderem von den hinterliegenden Gegenständen ausgehendem Lichte gemischt ist, und ausserdem der gröberen Trübung der unteren Schichten der Atmosphäre angehört, weshalb es weisslicher ist. In wärmeren Ländern bei trockener Luft ist die Lufttrübung feiner auch in den unteren Schichten der Atmosphäre, und daher das Blau vor entfernten irdischen Gegenständen dem des Himmels ähnlicher. Die Klarheit und die Farbensättigung italienischer Landschaften rührt wesentlich von diesem Umstande her. Auf hohen Bergen dagegen ist namentlich des Morgens die Lufttrübung oft so gering, dass die Farben der fernsten Objecte sich kaum von denen der nächsten unterscheiden. Dann kann auch der Himmel fast schwarzblau erscheinen.

Umgekehrt sind dichtere Trübungen auch meist aus gröberen Theilchen gebildet, und deshalb weisslicher. Dies ist in der Regel

Digitized by Google

in den unteren Luftschichten der Fall und bei Witterungszuständen, wo der in der Luft enthaltene Wasserdunst dem Punkte seiner Verdichtung nahe kommt.

Andererseits ist dem Lichte, was geraden Weges von fernen Gegenständen hin durch eine lange Luftschicht in das Auge des Beobachters gelangt, ein Theil seines Violett und Blau durch zerstreuende Reflexion entzogen, es erscheint deshalb gelblich bis rothgelb oder roth, ersteres bei feinerer Trübung, letzteres bei gröberer. So erscheinen Sonne und Mond bei ihrem Auf- und Untergange und ebenso ferne hell beleuchtete Bergspitzen, namentlich Schneeberge gefärbt.

Diese Färbungen sind übrigens nicht nur der Luft eigenthümlich, sondern kommen bei allen Trübungen einer durchsichtigen Substanz durch fein vertheilte Partikelchen einer anderen durchsichtigen Substanz vor. Wir sehen sie, wie bemerkt, in verdünnter Milch und in Wasser, dem man einige Tropfen Kölnischen Wassers zugesetzt hat, wobei die im Alkohol des letzteren aufgelösten ätherischen Oele und Harze sich ausscheiden und die Trübung bilden. Ausserordentlich feine blaue Trübungen, noch blauer, als die Luft, kann man nach Tyndall's Beobachtungen hervorbringen, wenn man Sonnenlicht auf Dämpfe gewisser kohlenstoffhaltiger Substanzen zersetzend einwirken lässt. Goethe hat schon auf die Allgemeinheit der Erscheinung aufmerksam gemacht, und suchte seine Farbentheorie auf sie zu gründen.

Als Luftperspective nun bezeichnet man die künstlerische Darstellung der Lufttrübung, weil durch das stärkere oder geringere Hervortreten der Luftfarbe über der Farbe der Gegenstände auch die verschiedene Entfernung dieser sehr bestimmt angezeigt wird, und namentlich Landschaften dadurch wesentlich ihre Tiefe erhalten. Je nach der Witterung kann die Lufttrübung grösser oder kleiner sein, weisslicher oder blauer. Sehr klare Luft, wie sie nach längerem Regen zuweilen vorkommt, lässt die fernen Berge nahe und klein erscheinen, dunstigere fern und gross.

Dem Maler ist das letztere entschieden vortheilhafter. Die hohen klaren Landschaften des Hochgebirges, wie sie den Bergwanderer so häufig die Entfernung und Grösse der vorliegenden Bergspitzen zu unterschätzen verleiten, sind auch malerisch schwer zu verwerthen, desto besser die Ansichten von unten aus den Thälern, von den Seen und Ebenen her, wo die Luftbeleuchtung zart aber merklich entwickelt ist und ebenso wohl die verschiedenen Entfernungen und Grössen des Gesehenen deutlich hervor-

Digitized by Google

treten lässt, als sie andererseits der künstlerischen Einheit der Färbung günstig ist.

Obgleich vor den grösseren Tiefen der Landschaft die Luftfarbe deutlicher hervortritt, fehlt sie doch auch bei hinreichend intensiver Beleuchtung nicht ganz vor den nahen Gegenständen eines Zimmers. Was man isolirt und wohlabgegrenzt sieht, wenn in ein verdunkeltes Zimmer Sonnenlicht durch eine Oeffnung des Ladens fällt, fehlt natürlich nicht ganz, wenn das ganze Zimmer beleuchtet ist. Auch hier muss sich die Luftbeleuchtung, wenn sie stark genug ist, vor dem Hintergrunde geltend machen und die Farben desselben im Vergleich zu denen der näheren Gegenstände etwas abstumpfen; und auch diese Unterschiede, obgleich viel zarter als vor dem Hintergrunde einer Landschaft, sind für den Historien-, Genre- oder Portraitmaler von Bedeutung und erhöhen, wenn sie fein beobachtet und nachgeahmt sind, die Deutlichkeit seiner Darstellung in hohem Grade.

II. Helligkeitsstufen.

Die bisher besprochenen Verhältnisse zeigen uns zunächst einen tiefgreifenden und für die Auffassung der körperlichen Formen äusserst wichtigen Unterschied zwischen dem Gesichtsbilde, welches unsere Augen uns zuführen, wenn wir vor den Objecten stehen, und demjenigen, welches das Gemälde uns giebt. Dadurch wird die Auswahl der in den Gemälden darzustellenden Gegenstände schon vielfach beschränkt. Die Künstler wissen sehr wohl, dass für ihre Hilfsmittel Vieles nicht darstellbar ist. Ein Theil ihrer künstlerischen Geschicklichkeit besteht darin, dass sie durch passende Anordnung, Stellung und Wendung der Objecte, durch passende Wahl des Gesichtspunktes und durch die Art der Beleuchtung die Ungunst der Bedingungen, die ihnen in dieser Beziehung aufgelegt sind, zu überwinden wissen.

Wie es zunächst scheinen könnte, würde nun doch von der Forderung der Naturwahrheit eines Gemäldes so viel stehen bleiben können, dass dasselbe, vom richtigen Orte angeschaut, wenigstens einem unserer Augen dieselbe räumliche Vertheilung von Licht, Farben und Schatten in seinem Gesichtsfelde darbieten und also

Digitized by Google

auch im Inneren dieses Auges genau dasselbe Netzhautbild entwerfen solle, wie der dargestellte Gegenstand thun würde, wenn wir ihn wirklich vor uns hätten und von einem bestimmten unveränderlichen Standpunkt aus betrachteten. Es könnte als Aufgabe der malerischen Technik erscheinen unter den genannten Beschränkungen durch das Gemälde wirklich den gleichen Eindruck auf das Auge zu erzielen, wie ihn die Wirklichkeit geben würde.

Gehen wir nun daran zu untersuchen, ob und wie weit die Malerei einer solchen Forderung denn nun wirklich gerecht werde oder auch nur gerecht werden könne, so treffen wir auch hier wieder auf Schwierigkeiten, vor denen wir vielleicht zurückschrecken würden, wenn wir nicht wüssten, dass sie schon überwunden sind.

Beginnen wir mit dem Einfachsten, mit den quantitativen Verhältnissen der Lichtstärken. Soll der Künstler den Eindruck seines Gegenstandes auf unser Auge genau gleich nachahmen, so müsste er auch auf seinem Bilde gleich grosse Helligkeit und gleich grosse Dunkelheit verwenden können, wie die Natur sie darbietet. Aber daran ist nicht im Entferntesten zu denken. Erlauben Sie mir ein passendes Beispiel zu wählen. In einer Gallerie möge ein Wüstenbild hängen, auf dem ein Zug weiss verhüllter Beduinen und dunkler Neger durch den brennenden Sonnenschein dahinzieht; dicht daneben eine bläuliche Mondnacht, wo sich der Mond im Wasser spiegelt, und man Baumgruppen, menschliche Gestalten in der Dunkelheit leise angedeutet erkennt. Sie wissen aus Erfahrung, dass beide Bilder, wenn sie gut gemacht sind, in der That mit überraschender Lebendigkeit die Vorstellung ihres Gegenstandes hervorzaubern können, und doch sind in beiden Bildern die hellsten Stellen mit demselben Kremser Weiss, nur wenig durch Zumischungen verändert, mit demselben Schwarz die dunkelsten ausgeführt. Beide theilen an derselben Wand dieselbe Beleuchtung, und die hellsten wie die dunkelsten Stellen beider sind deshalb, was den Grad ihrer Helligkeit betrifft, kaum wesentlich unterschieden.

Wie verhält es sich nun mit den dargestellten Helligkeiten in der Wirklichkeit? Das Verhältniss zwischen der Helligkeit der Beleuchtung durch die Sonne und der durch den Vollmond ist von W o l l a s t o n gemessen worden, indem er beide ihrer Stärke nach mit dem Lichte gleich beschaffener Kerzen verglich. Es hat sich ergeben, dass die Beleuchtung durch die Sonne 800 000 Mal stärker ist, als die hellste Vollmondbeleuchtung.

Digitized by Google

Jeder undurchsichtige Körper, der von irgend einer Lichtquelle beleuchtet wird, kann im günstigsten Falle nur so viel Licht wieder aussenden, als auf ihn fällt. Indessen scheinen nach Lambert's Beobachtungen selbst die weissesten Körper nur etwa $^2/_5$ des auffallenden Lichtes zurückzusenden. Die Sonnenstrahlen, welche nebeneinander von der Sonne ausgehen, deren Halbmesser nicht ganz 100 000 Meilen beträgt, sind, wenn sie bei uns ankommen, schon gleichmässig über eine Kugelfläche von 20 Millionen Meilen Halbmesser ausgebreitet; ihre Dichtigkeit und Beleuchtungskraft ist hier nur noch der vierzigtausendste Theil von derjenigen, mit der sie die Sonnenoberfläche verlassen, und jene Lambert'sche Zahl lässt schliessen, dass auch die hellste weisse Fläche, von senkrechten Sonnenstrahlen getroffen, nur den hunderttausendsten Theil von der Helligkeit der Sonnenscheibe hat. Der Mond aber ist ein grauer Körper, dessen mittlere Helligkeit nur etwa $^1/_5$ von der des hellsten Weiss beträgt.

Und wenn der Mond nun seinerseits einen Körper von hellstem Weiss hier auf Erden bescheint, so ist dessen Helligkeit wiederum nur der hunderttausendste Theil von der Helligkeit des Mondes selbst; demnach ist die Sonnenscheibe 80 000 Millionen Mal heller als ein solches vom Vollmond beleuchtetes Weiss.

Gemälde nun, die in einer Gallerie hängen, werden nicht vom directen Sonnenlicht, sondern nur vom reflectirten Himmels- oder Wolkenlicht beschienen. Directe Messungen der Helligkeit der Beleuchtung, welche im Inneren einer Bildergallerie zu herrschen pflegt, sind mir nicht bekannt; indessen lassen sich Schätzungen derselben aus bekannten Daten wohl anstellen. Bei recht grossem Oberlicht und heller Wolkenbeleuchtung könnte das hellste Weiss auf einem Gemälde wohl $^1/_{20}$ von der Helligkeit des direct von der Sonne beleuchteten Weiss haben; meist wird es nur $^1/_{40}$ oder weniger sein.

Der Wüstenmaler also, selbst wenn er auf die Darstellung der Sonnenscheibe verzichtet, die ja immer nur sehr unvollkommen gelingt, wird die grell beleuchteten Gewänder seiner Beduinen mit einem Weiss darstellen müssen, was günstigsten Falls etwa nur den zwanzigsten Theil der Helligkeit zeigt, die der Wirklichkeit entspräche. Könnte man es mit unveränderter Beleuchtung in die Wüste hinausbringen, so würde es neben dem dortigen Weiss wie ein recht dunkles Grauschwarz erscheinen. In der That fand ich bei einem Versuche, dass sonnenbeleuchteter Lampenruss doch noch halb so hell war, als beschattetes Weiss im helleren Theile eines Zimmers.

Digitized by Google

Auf dem Mondscheinbilde dagegen wird dasselbe Weiss, womit auf dem ersten die Beduinenmäntel ausgeführt sind, mit geringer Zumischung benutzt werden müssen um die Mondscheibe und ihre Wasserreflexe darzustellen, obgleich der wahre Mond nur ein Fünftel dieser Helligkeit, seine Wasserreflexe aber noch viel weniger haben sollten. Dagegen werden weisse vom Monde beschienene Gewänder oder Marmorflächen, wenn der Künstler sie auch stark in Grau abtönt, immerhin auf seinem Bilde noch zehn- bis zwanzigtausend Mal heller sein, als sie unter Vollmondbeleuchtung in Wirklichkeit sind.

Andererseits würde auch das dunkelste Schwarz, was der Künstler verwenden könnte, kaum zureichen die wahre Beleuchtungsstärke eines vom Vollmond beschienenen weissen Gegenstandes klein genug darzustellen. Denn auch das dunkelste Schwarz, Russüberzüge, schwarzer Sammet, kräftig beleuchtet, erscheinen grau, wie wir bei optischen Versuchen, wo wir überflüssiges Licht abblenden wollen, oft genug zu unserem Schaden erfahren. Die Helligkeit eines von mir untersuchten Russüberzuges war etwa $^1/_{100}$ von der Helligkeit weissen Papiers. Die hellsten Farben des Malers sind überhaupt etwa nur hundert Mal so hell, als seine dunkelsten Schatten.

Die gemachten Angaben werden Ihnen vielleicht übertrieben erscheinen. Aber sie beruhen auf Messungen, und Sie können sie durch wohlbekannte Erfahrungen controliren. Nach Wollaston ist die Beleuchtung durch den Vollmond gleich der durch eine in 12 Fuss Entfernung gestellte brennende Kerze. Sie werden wissen, dass man im Vollmondschein nicht mehr lesen kann, wohl aber in drei bis vier Fuss Entfernung von einer Kerze. Nun nehmen Sie an, Sie träten aus einem tageshellen Zimmer plötzlich in ein von einer einzigen Kerze beleuchtetes, übrigens absolut lichtloses Gewölbe. Sie würden im ersten Augenblicke glauben, in absolute Dunkelheit einzutreten, höchstens etwa die Kerzenflamme selbst wahrnehmen. Jedenfalls würden Sie von den 12 Fuss von der Kerze entfernten Gegenständen nicht die geringste Spur erkennen. Das sind aber die Gegenstände, die so hell wie vom Vollmonde beleuchtet sind. Erst nach geraumer Zeit würden Sie sich an das Dunkel gewöhnt haben und sich dann allerdings ohne Schwierigkeit zurecht finden.

Kehren Sie dann an das Tageslicht zurück, wo sie früher in voller Bequemlichkeit verweilten: so wird Ihnen dasselbe so blendend erscheinen, dass Sie vielleicht die Augen schliessen

Digitized by Google

müssen, und nur mit schmerzhafter Lichtscheu umher zu blicken im Stande sind. Sie sehen also: es handelt sich hier nicht um kleinliche, sondern um colossale Unterschiede. Wie ist nun unter solchen Umständen überhaupt irgend welche Aehnlichkeit des Eindruckes zwischen Gemälde und Wirklichkeit denkbar?

Unsere Erörterung über das, was wir im Keller anfangs nicht sahen und später sahen, lässt uns schon das wichtigste Moment der Ausgleichung erkennen; es ist die verschiedene Abstumpfung unseres Auges durch Licht, ein Vorgang, den wir mit demselben Namen der Ermüdung, wie den entsprechenden in den Muskeln belegen können. Jede Thätigkeit unserer Nervenapparate setzt vorübergehend deren Leistungsfähigkeit herab. Der Muskel wird ermüdet vom Arbeiten, das Hirn ermüdet vom Denken und von Gemüthsbewegungen, das Auge ermüdet vom Licht, desto mehr, je stärker dieses ist. Die Ermüdung macht es stumpf und unempfindlich gegen neue Lichteindrücke, so dass es starke nur mässig, schwache gar nicht mehr empfindet.

Jetzt aber sehen Sie, wie anders bei Berücksichtigung dieser Umstände sich die Aufgabe des Künstlers stellt. Das Auge des Wüstenfahrers, der der Karawane zusieht, ist selbst durch den blendenden Sonnenschein auf das Aeusserste abgestumpft, das des Mondscheinwanderers in der Dunkelheit zur grössten Höhe der Empfindlichkeit erholt. Von beiden unterscheidet sich der Zustand des Beschauers der Gemälde durch einen gewissen mittleren Grad der Empfindlichkeit des Auges. Der Maler muss also streben, durch seine Farben auf das mässig empfindliche Auge seines Beschauers denselben Eindruck hervorzubringen, wie ihn einerseits die Wüste auf das geblendete, andererseits die Mondnacht auf das vollkommen ausgeruhte Auge ihres Beschauers machen. Neben den wirklichen Beleuchtungsverhältnissen der Aussenwelt spielen also unverkennbar die verschiedenen physiologischen Zustände des Auges eine ausserordentlich einflussreiche Rolle bei dem Werke des Künstlers. Was er zu geben hat, ist hiernach schon nicht mehr eine reine Abschrift des Objectes, sondern eine Uebersetzung seines Eindruckes in eine andere Empfindungsscala, die einem anderen Grade von Erregbarkeit des beschauenden Auges angehört, bei welchem das Organ in seinen Antworten auf die Eindrücke der Aussenwelt eine ganz andere Sprache spricht.

Um zu verstehen, was dies für Folgen hat, muss ich Ihnen zunächst das von Fechner gefundene Gesetz für die Empfindungsscala des Auges auseinandersetzen, welches einen einzelnen Fall

Digitized by Google

des von demselben geistreichen Forscher für die Beziehungen mannigfaltiger sinnlicher Empfindungen zu den sie erregenden Reizen aufgestellten allgemeineren psychophysischen Gesetzes bildet. Dieses Gesetz kann in folgender Weise ausgesprochen werden: Innerhalb sehr breiter Grenzen der Helligkeit sind Unterschiede der Lichtstärke gleich deutlich, oder erscheinen in der Empfindung gleich gross, wenn sie den gleichen Bruchtheil der gesammten verglichenen Lichtstärken ausmachen. So zeigt es sich zum Beispiel, dass man Unterschiede der Helligkeit von einem Hundertel ihrer gesammten Stärke mit nicht allzu grosser Mühe bei sehr verschiedenen Stärken der Beleuchtung erkennen kann, ohne dass die Sicherheit und Leichtigkeit dieser Unterscheidung erhebliche Unterschiede zeigt, sei es, dass man hellstes Tageslicht oder gute Kerzenbeleuchtung anwendet.

Das leichteste Hülfsmittel, um genau messbare Unterschiede der Helligkeit zwischen zwei weissen Flächen hervorzubringen, beruht auf der Anwendung schnell rotirender Scheiben. Wenn man eine Scheibe, wie die nebenstehende Fig. 16, sehr schnell umlaufen

Fig. 16.

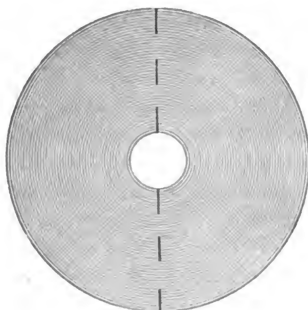


Fig. 17.



lässt (das heisst 20 bis 30 Mal in der Secunde), so erscheint sie dem Auge, ähnlich wie Fig. 17, mit drei grauen Ringen bedeckt zu sein; nur muss sich der Leser das Grau dieser Ringe, wie es auf der rotirenden Scheibe Fig. 16 erscheint, als eine kaum sichtbare Beschattung des Grundes vorstellen. Es erscheint nämlich bei schnellem Umlauf der Scheibe jeder Kreis der Scheibe so beleuchtet, als wäre das gesammte Licht, welches ihn trifft, gleichmässig über

Digitized by Google

seinen ganzen Umfang ausgebreitet. Diejenigen Kreisringe nun, in denen die schwarzen Striche liegen, haben etwas weniger Licht, als die ganz weissen, und wenn man die Breite der Striche mit der Länge des halben Umfanges des betreffenden Kreisringes vergleicht, erhält man den Bruchtheil, um den die Lichtstärke des weissen Grundes der Scheibe in dem betreffenden Ringe vermindert ist. Sind die Striche alle gleich breit, wie in Fig. 16, so sind die inneren Ringe dunkler als die äusseren, weil der gleiche Lichtverlust auf jenen sich über eine kleinere Fläche vertheilt, als bei den letzteren. Man kann auf diese Weise ausserordentlich zarte Abstufungen der Helligkeit erhalten, und zwar wird bei diesem Verfahren in demselben Ringe bei wechselnder Beleuchtungsstärke die Helligkeit immer um den gleichen Bruchtheil ihres ganzen Werthes vermindert. Dem Fechner'schen Gesetze entsprechend zeigt sich nun in der That, dass die Deutlichkeit der Ringe bei sehr verschiedenen Beleuchtungsstärken nahezu dieselbe bleibt. Nur muss man nicht zu allzu blendender oder allzu schwacher Beleuchtung übergehen. In beiden Fällen verschwinden die feineren Unterschiede dem Auge.

Ganz anders verhält es sich, wenn wir bei verschiedenen Beleuchtungsstärken Unterschiede hervorbringen, die immer derselben Lichtmenge entsprechen. Schliessen wir zum Beispiel bei Tage die Fensterläden eines Zimmers, so dass dieses ganz verdunkelt wird, und erleuchten es nun durch eine Kerze, so werden wir ohne Schwierigkeit die Schatten erkennen können, welche das Kerzenlicht wirft, wie etwa den Schatten unserer Hand, der auf ein weisses Blatt fällt. Lassen wir dagegen die Fensterläden wieder öffnen, so dass das Tageslicht in das Zimmer dringt, so werden wir bei derselben Haltung unserer Hand den von der Kerze geworfenen Schatten derselben nicht mehr erkennen können, trotzdem immer noch auf die von diesem Schatten nicht getroffenen Theile des weissen Blattes dieselbe Menge Kerzenlicht mehr fällt, als auf die von der Hand beschatteten Theile. Aber diese kleine Lichtmenge verschwindet im Vergleich zu der neu hinzugekommenen des Tageslichtes, vorausgesetzt, dass dieses alle Theile des weissen Blattes gleichmässig trifft. Sie sehen daraus, dass während der Unterschied zwischen Kerzenlicht und Dunkelheit wohl zu erkennen ist, der gleich grosse Unterschied zwischen Tageslicht einerseits und Tageslicht plus Kerzenlicht andererseits nicht mehr erkannt wird.

Dieses Gesetz ist nun für die Unterscheidung der verschiedenen

Digitized by Google

Helligkeiten der gesehenen Naturkörper von grosser Wichtigkeit. Ein weisser Körper erscheint weiss, weil er einen grossen Bruchtheil, ein grauer grau, weil er einen kleineren Bruchtheil von dem auffallenden Licht zurückwirft. Bei wechselnder Beleuchtungsstärke wird also der Helligkeitsunterschied zwischen beiden immer dem gleichen Bruchtheile ihrer gesammten Helligkeit entsprechen, und deshalb unseren Augen gleich wahrnehmbar bleiben, sobald wir uns nicht der oberen oder unteren Grenze der Helligkeit, für welche das Fechner'sche Gesetz nicht mehr gilt, allzu sehr nähern. Eben deshalb kann im Allgemeinen der Maler einen gleich gross erscheinenden Unterschied für den Beschauer seines Gemäldes hervorbringen trotz der abweichenden Beleuchtungsstärke in der Gemäldegallerie, wenn er seinen Farben nur das gleiche Verhältniss der Helligkeiten giebt, wie es die Wirklichkeit zeigt.

In der That ist bei unserer Betrachtung der Naturkörper die absolute Helligkeit, in der sie unserem Auge erscheinen, zwischen weiten Grenzen wechselnd, je nach der Beleuchtungsstärke und der Empfindlichkeit unseres Auges. Was constant ist, ist nur das Verhältniss der Helligkeiten, in welchem uns die Flächen von verschieden dunkler Körperfarbe bei gleicher Beleuchtung erscheinen. Also auch nur dieses Verhältniss der Helligkeiten ist für uns dasjenige sinnliche Zeichen, aus dem wir unsere Urtheile über die dunklere oder hellere Färbung der gesehenen Körper uns bilden. Dieses Verhältniss nun kann der Maler ungestört und naturgetreu nachahmen, um in uns die gleiche Vorstellung von der Art der gesehenen Körper hervorzurufen. Eine in dieser Beziehung getreue Nachahmung würde innerhalb der Grenzen, für welche das Fechner'sche Gesetz gilt, erhalten werden, wenn der Künstler die vollbeleuchteten Theile der Körper, welche er darzustellen hat, mit Farben wiedergäbe, welche bei gleicher Beleuchtung der darzustellenden Körperfarbe gleich wären. Annähernd geschieht dies ja auch in der That; der Maler wählt ja im Ganzen, namentlich für Gegenstände von geringer Tiefenausdehnung, wie zum Beispiel Portraits, Farbstoffe, welche die Körperfarbe der darzustellenden Objecte nahehin wiedergeben, und nur in den beschatteten Theilen dunkler genommen werden. Nach diesem Princip fangen Kinder an zu malen, sie ahmen Körperfarbe durch Körperfarbe nach; ebenso solche Nationen, bei denen die Malerei auf einem gewissen kindlichen Standpunkt stehen geblieben ist. Zur vollendeten künstlerischen Malerei aber kommt es erst, wenn nicht mehr die Körperfarben, sondern wenn die Lichtwirkung auf das Auge nach-

Digitized by Google

zuahmen gelungen ist, und nur indem wir den Zweck der malerischen Darstellung in dieser Weise auffassen, wird es möglich, die Abweichungen zu verstehen, welche die Künstler in der Wahl ihrer Farben- und Helligkeitsscala der Natur gegenüber haben eintreten lassen.

Zunächst sind diese dadurch bedingt, dass, wie mehrfach erwähnt, das Fechner'sche Gesetz nur für mittlere Grade der Helligkeit volle Gültigkeit hat, während bei zu hoher oder zu geringer Helligkeit merkliche Abweichungen von demselben eintreten.

An beiden Grenzen der Lichtstärken zeigt sich das Auge weniger empfindlich für Lichtunterschiede, als es nach jenem Gesetze sein sollte. Bei sehr starkem Lichte wird es geblendet, das heisst seine innere Thätigkeit kann nicht gleichen Schritt mit dem äusseren Reize halten, die Nervenapparate werden zu schnell ermüdet. Sehr helle Gegenstände sehen immer fast gleich hell aus, selbst wenn in Wirklichkeit bedeutende Unterschiede in ihrer Lichtstärke bestehen. Der Rand der Sonne hat etwa nur die halbe Lichtstärke ihrer Mitte; das wird noch Niemand von Ihnen haben erkennen können, wenn er nicht etwa durch verdunkelnde Gläser hingesehen hat, welche die Helligkeit auf ein bequemes Maass herabsetzen. Aus dem entgegengesetzten Grunde wird das Auge unempfindlicher bei schwachem Licht. Wenn ein Körper so schwach beleuchtet ist, dass wir ihn kaum noch wahrnehmen, so werden wir Verminderung seiner Helligkeit durch einen Schatten um ein Hundertel oder um ein Zehntel gar nicht mehr wahrnehmen.

Daraus folgt, dass bei geringer Helligkeit die dunkleren Objecte den dunkelsten, bei grosser Helligkeit die helleren den hellsten ähnlicher werden, als es nach Fechner's Gesetz, was für mittlere Lichtstärken gilt, sein sollte. Daraus fliesst nun ein für die Malerei höchst charakteristischer Unterschied zwischen dem Eindruck sehr starker und sehr schwacher Beleuchtung.

Wollen die Maler glühenden Sonnenschein darstellen, so machen sie alle Objecte fast gleich hell, und reproduciren so mit ihren nur mässig hellen Farben den Eindruck, den die Sonnengluth auf das geblendete Auge des Beobachters macht. Wollen sie dagegen Mondschein darstellen, so geben sie nur die allerhellsten Objecte hell an, namentlich die Reflexe des Mondlichtes an glänzenden Flächen, und halten alles Andere fast unerkennbar dunkel; das heisst alle dunkleren Gegenstände machen sie dem tiefsten Dunkel, was sie mit ihren Farben erzeugen können, ähnlicher, als sie nach dem wirklichen Verhältniss der Lichtstärken sein sollten. Sie

Digitized by Google

drücken durch ihre Abstufung der Helligkeiten in beiden Fällen also die Unempfindlichkeit des Auges für die Unterschiede zu hellen oder zu schwachen Lichtes aus. Könnten sie Farbe von dem blendenden Glanze vollen Sonnenscheins oder von der wirklichen Lichtschwäche des Mondlichtes anwenden, so brauchten sie die Abstufung der Helligkeit in ihren Gemälden nicht anders zu machen, als sie in der Natur ist; dann würde eben das Gemälde genau den gleichen Eindruck auf das Auge machen, wie ihn die gleichen Helligkeitsgrade wirklicher Gegenstände hervorbringen. Die beschriebene Aenderung in der Abstufung der Helligkeiten wird deshalb nöthig, weil die Farben des Gemäldes in der mittleren Helligkeit eines mässig beleuchteten Zimmers gesehen werden, für welche das Fechner'sche Gesetz merklich zutrifft, und damit Gegenstände dargestellt werden sollen, deren Helligkeitsstufen über die Grenze der Anwendbarkeit dieses Gesetzes hinausgehen.

Wir finden aber eine ähnliche Abweichung, die der bei Mondscheinlandschaften wirklich gesehenen entspricht, von älteren Meistern, im auffallendsten Maasse von Rembrandt, angewendet in Fällen, wo durchaus nicht der Eindruck von Mondschein oder einer ähnlich schwachen Beleuchtung hervorgebracht werden soll oder hervorgebracht wird. Die hellsten Partien der Objecte sind in diesen Bildern in hellen und leuchtenden gelblichen Farben dargestellt, aber die Abstufungen gegen das Dunkel hin sehr gross gemacht, so dass die dunkleren Gegenstände in ein fast undurchdringliches Dunkel versinken. Dieses Dunkel selbst aber ist überzogen mit dem gelblichen Nebelschein stark beleuchteter Luftmassen, so dass diese Bilder trotz ihrer Dunkelheit den Eindruck sonnigen Lichtes gewähren, und durch die sehr starke Abstufung der Schatten die Körperformen der Gesichter und Gestalten ausserordentlich kräftig hervorgehoben werden. Die Abweichung von der unmittelbaren Naturwahrheit ist in dieser Abstufung der Lichtstärken sehr auffallend, und doch geben die genannten Bilder ganz besonders lebhafte und eindringliche Anschauungen der dargestellten Gegenstände. Für das Verständniss der Principien malerischer Beleuchtung sind sie deshalb von besonderem Interesse.

Für die Erklärung ihrer Wirkungen muss man, wie ich glaube, berücksichtigen, dass das Fechner'sche Gesetz zwar annähernd richtig ist für die dem Auge bequemen mittleren Lichtstärken, dass aber doch die Abweichungen, welche für zu hohe und für zu kleine Lichtstärken so auffallend heraustreten, des Einflusses auch in dem Gebiete der mittleren Lichtstärken nicht ganz entbehren. Nur

Digitized by Google

muss man genauer beobachten, um diesen Einfluss wahrzunehmen. In der That zeigt sich, dass wenn man auf einer rotirenden Scheibe die allerzartesten Abstufungen von Schatten herstellt, solche nur bei einem bestimmten Grade der Beleuchtung sichtbar sind, welcher etwa der Beleuchtung weissen Papiers an einem hellen Tage entspricht, was voll vom Himmelslichte, aber nicht von der Sonne direct getroffen wird. In solcher Lichtstärke kann man auch Schatten von $^1/_{150}$ oder selbst $^1/_{180}$ der Lichtstärke erkennen. Das Licht, bei welchem man Gemälde betrachtet, ist dagegen viel schwächer, und will man also dieselbe Deutlichkeit der feinsten Schatten und der durch sie bezeichneten Modellirung der Formen bewahren, so muss man eben die Abstufungen der Schatten im Gemälde etwas grösser machen, als es den wirklichen Lichtstärken entspricht. Dadurch werden dann die dunkelsten Gegenstände des Gemäldes allerdings unnatürlich dunkel, was aber dem Zweck des Künstlers nicht widerspricht, wenn die Aufmerksamkeit des Beschauers hauptsächlich den helleren zugelenkt werden soll. Die grosse künstlerische Wirksamkeit dieser Manier zeigt uns also, wie der Hauptnachdruck in der Nachahmung auf die Abstufung der Helligkeitsunterschiede, nicht auf die absoluten Helligkeiten fällt, und wie die grössten Abweichungen in den letzteren ohne erhebliche Störung ertragen werden, wenn nur ihre Abstufungen ausdrucksvoll nachgeahmt sind.

III. Die Farbe.

An diese Abweichungen der Helligkeiten schliessen sich nun auch gewisse Abweichungen in der Färbung, die physiologisch dadurch bedingt sind, dass die Scala der Empfindungsstärken auch für die verschiedenen Farben verschieden ist. Wie stark die Empfindung ausfällt bei gegebener Beleuchtungsstärke durch Licht einer bestimmten Farbe, hängt eben durchaus von der besonderen Reactionsweise derjenigen Nervenapparate ab, die durch die Einwirkung des betreffenden Lichtes in Erregung versetzt werden. Nun sind alle unsere Farbenempfindungen Mischungen aus drei verschiedenen einfachen Empfindungen, nämlich von Roth, Grün, Violett [1]), die nach einer nicht unwahrscheinlichen Voraussetzung

---

[1]) Siehe Bd. I, S. 270 bis 282.

Digitized by Google

von Th. Young durch drei verschiedenartige Systeme von Sehnervenfasern ganz unabhängig von einander percipirt werden. Dieser Unabhängigkeit der verschiedenen Farbenempfindungen von einander entspricht nun auch ihre gegenseitige Unabhängigkeit in der Abstufung der Intensitäten. Neuere Messungen [1]) haben gezeigt, dass die Empfindlichkeit unseres Auges für schwache Schatten im Blau am grössten ist, im Roth am kleinsten. Im Blau wird ein Unterschied von $^1/_{205}$ bis $^1/_{268}$ der Lichtstärke erkannt, im Roth vom unermüdeten Auge $^1/_{16}$, bei Abstumpfung der Farbe durch längeres Betrachten $^1/_{50}$ bis $^1/_{70}$.

Das Roth verhält sich also wie eine Farbe, gegen deren Abstufungen das Auge relativ unempfindlicher ist, als gegen die des Blau. Dem entsprechend treten aber auch die Erscheinungen der Blendung bei gesteigerter Helligkeit im Roth schwächer auf, als im Blau. Wählt man nach einer Bemerkung von Dove ein blaues und ein rothes Papier, welche bei mittlerer weisser Beleuchtung gleich hell erscheinen, so erscheint bei sehr abgeschwächter weisser Beleuchtung das Blau als das hellere, bei sehr verstärkter Beleuchtung das Roth. Die gleichen Unterschiede zeigen sich, wie ich selbst beobachtete, noch auffallender an rothen und violetten Spectralfarben, und zwar schon bei sehr mässiger Steigerung ihrer Intensität um den gleichen Bruchtheil für beide.

Nun ist der Eindruck des Weiss gemischt aus den Eindrücken, welche die einzelnen in dem weissen Lichte enthaltenen Spectralfarben auf unser Auge machen. Steigern wir die Helligkeit des Weiss, so wird dabei die Empfindungsstärke für die rothen, gelben und grünen Farben verhältnissmässig mehr wachsen, als diejenige für die blauen und violetten. In hellem Weiss werden also die ersteren einen verhältnissmässig stärkeren Eindruck machen, als die letzteren; in schwachem Weiss dagegen die blauen und bläulichen Farben. Sehr helles Weiss erscheint also gelblich, lichtschwaches bläulich gefärbt. Wir werden uns allerdings dieses Unterschiedes bei der gewöhnlichen Betrachtung der uns umgebenden Gegenstände nicht so leicht bewusst, da die unmittelbare Vergleichung von Farbentönen sehr verschiedener Helligkeit schwierig ist, und wir gewöhnt sind ein und denselben weissen Gegenstand von unveränderter Beschaffenheit bei wechselnder Beleuchtung nach einander in dieser verschiedenen Abänderung des Weiss zu sehen, so

---

[1]) Dobrowolsky in Graefe's Archiv für Ophthalmologie, Bd. XVIII, Abthl. 1, S. 74 bis 92.

Digitized by Google

dass wir bei unserer Beurtheilung der Körperfarben den Einfluss der Helligkeit zu eliminiren gelernt haben.

Wenn aber dem Maler die Aufgabe erwächst den Eindruck von sonnenbeleuchtetem Weiss mit lichtschwächeren Farben nachzuahmen, so erreicht er einen höheren Grad von Aehnlichkeit, indem er in seinem Weiss durch Einmischung von Gelb diese Farbe ebenso vorwiegen macht, wie sie in wirklich hellerem Weiss wegen der Reactionsweise des Sehnervenapparates vorwiegen würde. Es ist dasselbe Verfahren, als wenn wir eine Landschaft unter trübem Himmel durch ein gelbes Glas betrachten, und ihr dadurch den Anschein von sonniger Beleuchtung geben. Umgekehrt wird der Künstler mondscheinbeleuchtetes, also sehr lichtschwaches Weiss bläulich machen, da die Farben auf dem Bilde, wie wir gesehen haben, ausserordentlich viel lichtstärker sein müssen als die darzustellende Farbe. Im Mondschein ist in der That kaum noch eine andere Farbe zu erkennen als Blau; der blaue Sternenhimmel oder blaue Blumen können noch deutlich gefärbt erscheinen, während Gelb und Roth nur noch als Verdunkelungen des allgemeinen bläulichen Weiss oder Grau sich merkbar machen.

Wiederum bitte ich Sie zu bemerken, dass diese Aenderungen der Farben nicht nöthig sein würden, wenn dem Künstler Farben von derselben Lichtstärke oder von derselben Lichtschwäche zu Gebote ständen, wie sie die von der Sonne oder vom Monde beleuchteten Körper wirklich zeigen.

Die Veränderung der Farbe ist, wie die vorher besprochene veränderte Abstufung der Helligkeit, eine subjective Wirkung, die der Maler objectiv auf seiner Tafel darstellen muss, weil seine mässig hellen Farben sie hervorzurufen nicht im Stande sind.

Ganz Aehnliches beobachten wir in Bezug auf die Erscheinungen des Contrastes. Wir begreifen unter diesem Namen Fälle, bei denen die Farbe oder Helligkeit einer Fläche dadurch, dass ein Feld von anderer Farbe oder Helligkeit daneben gesetzt wird, verändert erscheint und zwar so, dass die ursprüngliche Farbe durch eine helle Nachbarschaft dunkler, durch eine dunkle Nachbarschaft heller, durch eine gefärbte dagegen entgegengesetzt oder complementärfarbig gemacht wird.

Die Erscheinungen des Contrastes sind sehr verschiedener Art und rühren von verschiedenen Ursachen her. Eine Classe derselben, Chevreul's simultaner Contrast, ist unabhängig von den Bewegungen des Auges und kommt namentlich zwischen

Digitized by Google

Feldern von sehr geringen Farben- und Helligkeitsunterschieden vor. Dieser Contrast erscheint auf dem Gemälde ebenso gut, wie in der Wirklichkeit, und ist den Malern wohlbekannt. Ihre Farbengemische sehen auf der Palette oft ganz anders aus, als sie nachher im Gemälde erscheinen. Die hierher gehörigen Farbenänderungen sind oft ausserordentlich auffallend; doch unterlasse ich hier näher darauf einzugehen, weil sie keine Abweichung zwischen dem Gemälde und der Wirklichkeit bedingen.

Die zweite für uns wichtigere Classe der Contrasterscheinungen zeigt sich bei Bewegungen des Blickes, und zwar vorzugsweise zwischen Feldern von grösseren Helligkeits- und Farbenunterschieden. Wenn der Blick über helle und dunkle oder farbige Gegenstände und Flächen hingleitet, wird der Eindruck jeder Farbe verändert, indem sie sich auf Theilen der Netzhaut abbildet, die unmittelbar vorher von anderen Farben und Lichtern getroffen waren und dadurch in ihrer Reizempfänglichkeit verändert worden sind. Diese Art des Contrastes ist deshalb wesentlich von Augenbewegungen abhängig und von Chevreul daher als successiver Contrast bezeichnet worden.

Wir haben schon vorher gesehen, dass die Netzhaut unseres Auges im Dunkeln empfindlicher gegen schwaches Licht wird, als sie vorher war. Durch starkes Licht dagegen wird sie abgestumpft und unempfindlicher gegen schwache Lichter, die sie vorher wahrgenommen hatte. Wir hatten diesen letzteren Vorgang als Ermüdung der Netzhaut bezeichnet, als eine Erschöpfung der Leistungsfähigkeit der Netzhaut durch ihre Thätigkeit selbst, wie es ähnlich die Ermüdung der Muskeln ist.

Zunächst ist nun zu erwähnen, dass die Ermüdung der Netzhaut durch Licht sich nicht nothwendig auf die ganze Fläche derselben ausdehnt, sondern, wenn nur ein kleiner Theil dieser Membran durch ein beschränktes helles Bildchen getroffen ist, auch nur in diesem Theile sich örtlich beschränkt entwickeln kann.

Sie Alle werden die dunklen Flecke kennen, welche sich auf dem Gesichtsfelde herum bewegen, wenn man auch nur kurze Zeit nach der untergehenden Sonne geblickt hat, und welche die Physiologen als negative Nachbilder der Sonne zu bezeichnen pflegen. Dieselben entstehen dadurch, dass nur diejenigen Theile der Netzhaut, welche von dem Bilde der Sonne im Auge wirklich getroffen wurden, für neue Lichtwirkung unempfindlicher geworden sind. Blickt man mit einem solchen local ermüdeten Auge nun auf eine gleichmässig helle Fläche, zum Beispiel das Himmelsgewölbe, so

Digitized by Google

empfinden die ermüdeten Theile der Netzhaut den auf sie fallenden Theil des Bildes im Auge schwächer und dunkler als ihre Nachbarn, so dass der Beschauer dunkle Flecke am Himmel zu sehen glaubt, die sich mit seinem Blicke hin- und herbewegen. Er hat dann nebeneinander vor sich in den hellen Theilen der Himmelsfläche den Eindruck, den diese auf die nicht ermüdeten Theile der Netzhaut macht, in den dunkeln Flecken dagegen die Wirkung auf die ermüdeten Theile. So helle Gegenstände, wie die Sonne, rufen negative Nachbilder allerdings am auffallendsten hervor; aber bei einiger Aufmerksamkeit beobachtet man dieselben auch nach viel mässigeren Lichteindrücken. Nur braucht man längere Zeit, um das Nachbild von solchen deutlich erkennbar zu entwickeln, und man muss dabei sehr fest einen bestimmten Punkt des hellen Objectes fixiren, ohne das Auge zu bewegen, damit das Bild desselben fest auf der Netzhaut liege, und nur eine wohlbegrenzte Stelle der Netzhaut erregt und ermüdet werde, gerade so, wie es zur Erzeugung scharfer photographischer Porträts nöthig ist, dass der Abzubildende sich während der Expositionszeit nicht bewege, damit sein Bild auf der photographischen Platte sich nicht hin- und herschiebe. Das Nachbild im Auge ist gleichsam eine Photographie auf der Netzhaut, die durch die veränderte Empfindlichkeit gegen neues Licht sichtbar wird, aber nur kurze Zeit stehen bleibt, desto länger, je stärker und dauernder die Lichtwirkung war.

War der fixirte Gegenstand farbig, zum Beispiel rothes Papier, so ist das Nachbild auf grauem Grunde complementär gefärbt, in diesem Falle also grünblau[1]). Rosenrothes Papier giebt dagegen ein rein grünes Nachbild, grünes ein rosenrothes, blaues ein gelbes und gelbes ein blaues. Diese Erscheinungen zeigen, dass in der Netzhaut auch eine theilweise Ermüdung in Bezug auf die verschiedenen Farben möglich ist. Nach Th. Young's[2]) Hypothese von der Existenz dreier Fasersysteme im Sehnerven, von denen das

---

[1]) Um diese Art Nachbilder möglichst deutlich zu sehen, thut man gut alle Augenbewegungen zu vermeiden. Man zeichne auf ein grosses Blatt dunkelgrauen Papieres ein schwarzes Kreuzchen, dessen Mitte man andauernd fest fixire und schiebe dann von der Seite ein viereckiges Blatt Papier von derjenigen Farbe heran, deren Nachbild man beobachten will, so dass eine der Ecken das Kreuzchen berührt. Man lasse das Blatt ein bis zwei Minuten fest liegen, indem man unverwandt das Kreuzchen fixirt, und ziehe es dann plötzlich weg, ohne in der genannten Fixation nachzulassen. Dann sieht man an Stelle des weggezogenen Blattes auf dem dunkeln Grunde das Nachbild erscheinen.

[2]) Siehe Bd. I, S. 279.

Digitized by Google

eine bei jeder Art der Reizung Roth empfindet, das zweite Grün, das dritte Violett, werden bei grüner Beleuchtung nur die grünempfindenden Fasern der Netzhaut kräftig erregt und ermüdet. Wird derselbe Theil der Netzhaut nachher weiss beleuchtet, so ist die Empfindung des Grün abgeschwächt, die des Roth und Violett lebhaft und überwiegend; deren Summe giebt alsdann den Gesammteindruck von Purpur, der sich mit dem unveränderten Weiss des Grundes zu Rosenroth mischt.

Bei der gewöhnlichen Betrachtung lichter und farbiger Objecte pflegen wir nun nicht dauernd ein und denselben Punkt zu fixiren, weil wir, mit dem Blicke dem Spiele unserer Aufmerksamkeit folgend, ihn immer neuen Theilen der Objecte zuwenden, wie sie uns gerade interessiren. Diese Art des Betrachtens, wobei sich demgemäss auch das Auge fortwährend bewegt und das Netzhautbild auf der Netzhaut hin- und hergleitet, hat ausserdem den Vortheil die Störungen des Sehens zu vermeiden, welche starke und dauernde Nachbilder mit sich führen würden. Doch fehlen Nachbilder auch hierbei nicht ganz, sie sind nur verwaschen in ihren Contouren und sehr flüchtig in ihrer Dauer.

Liegt nun ein rothes Feld auf grauem Grunde, und bewegt sich unser Blick vom Roth über den Rand zum Grau, so werden die Randtheile des Grau von einem solchen Nachbilde des Roth getroffen und erscheinen schwach blaugrün gefärbt. Da aber das Nachbild schnell schwindet, so sind es meist nur die dem Roth am nächsten liegenden Theile des Grau, die die Veränderung in merklichem Grade zeigen.

Auch dies ist eine Erscheinung, die durch helles Licht und glänzende gesättigte Farben stärker als durch schwächeres Licht und stumpfere Farben hervorgerufen wird. Der Künstler aber arbeitet vorzugsweise mit den letzteren. Die meisten Farbentöne erzeugt er sich durch Mischung; jeder gemischte Farbstoff ist aber grauer und stumpfer als die reinen Farben, aus denen er gemischt ist, und selbst die wenigen reinen Farbstoffe von sehr gesättigter Farbe, wie Zinnober und Ultramarin, welche die Oelmalerei verwenden kann, sind verhältnissmässig dunkel. Die lichtstarken Farben des Aquarell und der farbigen Kreiden wiederum sind verhältnissmässig weisslich. Daher sind im Allgemeinen so lebhafte Contrastwirkungen, wie sie an stark gefärbten und stark beleuchteten Objecten in der Natur beobachtet werden, von ihrer Darstellung im Gemälde nicht zu erwarten. Will also der Künstler den Gesichtseindruck, den die Objecte geben, mit den Farben, die ihm zu Gebot

Digitized by Google

stehen, möglichst eindringlich wiedergeben, so muss er auch die Contraste malen, welche jene erzeugen. Wären die Farben auf dem Gemälde ebenso glänzend und lichtstark, wie an den wirklichen Objecten, so würden sich auch die Contraste vor jenem ebenso gut von selbst erzeugen, wie vor diesen. Auch hier müssen also subjective Phänomene des Auges objectiv auf das Gemälde gesetzt werden, weil die Scala der Farben und Helligkeiten auf letzterem eine abweichende ist.

So werden Sie bei einiger Aufmerksamkeit finden, wie der Regel nach Maler und Zeichner eine ebene, gleichmässig erleuchtete Fläche da heller machen, wo sie an Dunkel, dunkler, wo sie an Hell stösst. Sie werden finden, dass gleichmässig graue Flächen gegen Gelb abgetönt werden, wo hinter ihnen am Rande Blau zum Vorschein kommt, gegen Rosa, wo sie an Grün stossen, vorausgesetzt, dass kein vom Blau oder Grün reflectirtes Licht auf das Grau fallen kann. Wo einzelne Sonnenstrahlen durch das grüne Laubdach eines Waldes dringend den Boden treffen, erscheinen sie dem gegen das herrschende Grün ermüdeten Auge rosenroth gefärbt, und dem rothgelben Kerzenlicht gegenüber erscheint das durch eine Spalte einfallende weisse Tageslicht blau. So malt sie in der That auch der Maler, da die Farben seines Gemäldes nicht leuchtend genug sind, um ohne solche Nachhilfe den Contrast hervorzubringen.

An die Reihe dieser subjectiven Erscheinungen, welche die Künstler auf ihren Gemälden objectiv darzustellen genöthigt sind, schliessen sich auch noch gewisse Erscheinungen der Irradiation. Man versteht darunter Fälle, wo im Gesichtsfeld irgend ein sehr helles Object steht, und das Licht oder die Farbe desselben über die Nachbarschaft sich ausbreitet. Die Erscheinung ist desto auffallender, je heller das irradiirende Object ist, und der über die Nachbarschaft ausgegossene Lichtschein ist in der unmittelbarsten Nähe des hellen Objectes am stärksten, nimmt dagegen in grösserer Entfernung an Stärke ab. Am auffallendsten sind die Irradiationserscheinungen rings um ein sehr helles Licht auf dunklem Grunde. Verdeckt man dem Auge den Anblick der Flamme selbst durch einen schmalen dunkeln Gegenstand, zum Beispiel einen Finger, so sieht man gleichzeitig einen hellen nebeligen Schein schwinden, der die ganze Nachbarschaft überdeckt, und man erkennt deutlicher die Gegenstände, die sich in dem dunkeln Theile des Gesichtsfeldes etwa befinden. Deckt man sich die Flamme halb zu mit einem Lineal, so scheint dieses eingekerbt zu sein an der

Digitized by Google

Stelle, wo die Flamme darüber hervorragt. Hierbei ist der Lichtschein in der Nähe der Flamme so intensiv, dass man seine Helligkeit von der der Flamme selbst schon nicht mehr unterscheidet; die Flamme erscheint, wie es übrigens mit jedem sehr hellen Objecte der Fall ist, vergrössert und gleichsam übergreifend über die benachbarten dunkeln Objecte.

Der Grund dieser Erscheinungen ist übrigens ein ganz ähnlicher, wie der der sogenannten Luftperspective; es sind Lichtausbreitungen, welche von dem Durchgange des Lichtes durch trübe Medien herrühren, nur dass für die Erscheinungen der Luftperspective die Trübung in der Luft vor dem Auge zu suchen ist, für die eigentlichen Irradiationserscheinungen aber in den durchsichtigen Medien des Auges selbst. Es zeigt sich bei scharfer Beleuchtung des gesundesten menschlichen Auges, am besten von der Seite her mit einem durch eine Brennlinse concentrirten Bündel von Sonnenstrahlen, dass die Hornhaut und die Krystallinse nicht vollkommen klar sind. Scharf beleuchtet erscheinen beide etwas weisslich, wie durch einen feinen Nebel getrübt. In der That sind beides Gewebe von faserigem Bau, die in ihrer Structur deshalb nicht so homogen sind, wie eine reine Flüssigkeit oder ein reiner Krystall. Jede kleinste Ungleichartigkeit in der Structur eines durchsichtigen Körpers ist aber im Stande, etwas von dem auffallenden Lichte zurückzuwerfen, beziehlich nach allen Seiten hin zu zerstreuen [1]).

Die Erscheinungen der Irradiation kommen übrigens auch bei mässigeren Graden der Helligkeit zu Stande. Eine dunkele Oeffnung in einem farbigen von der Sonne beleuchteten Papierblatte oder ein dunkeles kleines Object auf einer farbigen Glasplatte, die man gegen den hellen Himmel hält, erscheinen ebenfalls mit der Farbe der umliegenden Fläche übergossen.

Die Erscheinungen der Irradiation sind demgemäss denen, welche die Trübung der Luft hervorbringt, sehr ähnlich. Der einzige wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Trübung durch beleuchtete Luft vor ferneren Gegenständen, die mehr Luft vor sich haben, stärker ist als vor näheren Gegenständen, während die Irradiation im Auge ihren Schein gleichmässig über nahe und ferne Gegenstände ausgiesst.

---

[1]) Ich übergehe hier die Ansicht, wonach die Irradiation im Auge auf einer Ausbreitung der Erregung in der Nervensubstanz beruhen soll, weil mir dieselbe zu hypothetisch erscheint. Uebrigens kommt es bei dem vorliegenden Thema nur auf die Phänomene an, und nicht auf deren Ursache.

Digitized by Google

Auch die Irradiation gehört zu den subjectiven Erscheinungen des Auges, die der Künstler objectiv nachahmt, weil die gemalten Lichter und das gemalte Sonnenlicht nicht lichtstark genug sind, ihrerseits eine deutlich wahrnehmbare Irradiation im Auge des Beschauers hervorzubringen.

Ich habe schon vorher die Darstellung, welche der Maler von den Lichtern und Farben seiner Objecte zu geben hat, als eine Uebersetzung bezeichnet und hervorgehoben, dass sie in der Regel eine in allen Einzelheiten getreue Abschrift gar nicht sein könnte. Die veränderte Scala der Helligkeiten, welche der Künstler in vielen Fällen anwenden muss, steht dem schon im Wege. Es sind nicht die Körperfarben der Objecte, sondern es ist der Gesichtseindruck, den sie gegeben haben oder geben würden, so nachzuahmen, dass eine möglichst deutliche und lebendige Anschauungsvorstellung von jenen Objecten entsteht. Indem der Maler die Licht- und Farbenscala, in der er seine Darstellung ausführt, ändern muss, ändert er nur etwas, was an den Gegenständen selbst mannigfachem Wechsel je nach der Beleuchtung und nach der Ermüdung des Auges unterworfen ist. Er behält das Wesentlichere bei, nämlich die Abstufungen der Helligkeit und Farbe. Hierbei drängen sich, wie wir gesehen haben, eine Reihe von Erscheinungen auf, die von der Art, wie unser Auge auf den äusseren Reiz antwortet, bedingt sind, und weil sie von der Stärke dieses Reizes abhängen, nicht unmittelbar durch die geänderten Lichtstärken und Farben des Gemäldes hervorgerufen werden. Diese subjectiven Erscheinungen, welche beim Anblick der Objecte eintreten, würden fehlen, wenn der Maler sie nicht objectiv auf seiner Leinwand darstellte. Die Thatsache, dass sie dargestellt werden, ist besonders bezeichnend für die Art der Aufgabe, die in der malerischen Darstellung zu lösen ist.

Nun spielt aber in jeder Uebersetzung die Individualität des Uebersetzers ihre Rolle. Bei der malerischen Uebertragung bleiben viele einflussreiche Verhältnisse der Wahl des Künstlers frei überlassen, um sie je nach individueller Vorliebe oder nach den Erfordernissen seines Gegenstandes zu entscheiden. Er kann die absolute Helligkeit seiner Farben innerhalb gewisser Grenzen frei wählen, ebenso die Grösse der Lichtabstufungen. Er kann letztere, wie Rembrandt, übertreiben, um kraftvolles Relief zu erhalten, oder sie verkleinern, wie etwa Fra Angelico und seine modernen Nachahmer, um die irdischen Schatten in den Darstellungen heiliger Gegenstände zu mildern. Er kann, wie die Holländer, das

Digitized by Google

in der Atmosphäre verbreitete Licht, bald sonnig, bald bleich, warm oder kalt hervorheben, und dadurch die der Beleuchtung und den Witterungszuständen abhängigen Stimmungen im Beschauer wachrufen, oder er kann durch ungetrübte Luft, gleichsam objectiv klar und von subjectiven Stimmungen unbeeinflusst, seine Gestalten hervortreten lassen. Dadurch ist eine grosse Mannigfaltigkeit in dem bedingt, was die Künstler den „Stil“ oder die „Vortragsweise“ nennen, und zwar in den rein malerischen Elementen derselben.

IV. Die Farbenharmonie.

Hier drängt sich nun naturgemäss die Frage auf: Wenn der Künstler wegen der geringen Lichtmenge und Sättigung seiner Farben auf allerlei indirecten Wegen, durch Nachahmung subjectiver Erscheinungen eine möglichst grosse, aber nothwendig immer unvollkommene Aehnlichkeit mit der Wirklichkeit zu erringen gezwungen wird, wäre es nicht zweckmässiger nach Mitteln zu suchen, um diesen Uebelständen abzuhelfen. Und solche giebt es ja. Frescogemälde zeigen sich ja zuweilen in vollem Sonnenschein, Transparentbilder und Glasmalereien können viel höhere Grade der Helligkeit, viel gesättigtere Farben benutzen, bei Dioramen und Theaterdecorationen können wir mit starker künstlicher Beleuchtung, nöthigenfalls mit elektrischem Lichte nachhelfen. Aber schon indem ich diese Zweige der Kunst aufzähle, wird Ihnen auffallen, dass diejenigen Werke, welche wir als höchste Meisterstücke der Malerei bewundern, nicht da hinein gehören; sondern dass bei weitem die meisten der grossen Kunstwerke mit den verhältnissmässig dunkeln Tempera- und Oelfarben, oder mindestens für Räume mit gemässigtem Licht ausgeführt worden sind. Wären höhere künstlerische Wirkungen mit sonnenbeleuchteten Farben zu erreichen, wir würden unzweifelhaft Gemälde haben, die davon Vortheil zögen. Die Frescomalerei würde dazu übergeleitet haben; oder die Versuche von Münchens berühmtem Optiker Steinheil, die dieser in naturwissenschaftlichem Interesse anstellte, nämlich Oelgemälde herzustellen, die im vollen Sonnenschein betrachtet werden sollten, würden nicht vereinzelt geblieben sein.

Somit scheint die Erfahrung zu lehren, dass die Mässigung des Lichtes und der Farben in den Gemälden sogar noch ein Vor-

Digitized by Google

theil ist; und wir brauchen nur sonnenbeschienene Frescogemälde, z. B. die der neuen Pinakothek in München, zu betrachten, so erfahren wir auch gleich, worin dieser Vortheil besteht. Deren Helligkeit ist nämlich so gross, dass wir sie kaum dauernd betrachten können. Und was in diesem Falle dem Auge so schmerzhaft und ermüdend wird, würde sich in geringerem Grade ja immer geltend machen, sobald in einem Gemälde auch nur stellenweise und in mässigerer Verwendung lichtstärkere Farben vorkämen, die den häufig dargestellten Graden hellen Sonnenscheins und über das Bild ausgegossener Lichtfülle entsprächen. Viel eher gelingt mit künstlicher Beleuchtung in Dioramen und Theaterdecorationen eine genauere Nachahmung des schwachen Lichtes des Mondscheins.

Wir dürfen also wohl in der That die Naturwahrheit eines schönen Gemäldes als eine veredelte Naturtreue bezeichnen. Ein solches giebt alles Wesentliche des Eindruckes wieder und erreicht volle Lebendigkeit der Anschauung, aber ohne das Auge durch die grellen Lichter der Wirklichkeit zu verletzen und zu ermüden. Die Abweichungen zwischen Kunst und Natur beschränken sich, wie schon erörtert wurde, hauptsächlich auf solche Verhältnisse, die wir auch der Wirklichkeit gegenüber nur schwankend und unsicher zu beurtheilen vermögen, wie die absoluten Lichtstärken.

Das sinnlich Angenehme, die nur wohlthuende aber nicht ermattende Erregung unserer Nerven, das Gefühl des Wohlseins in ihnen, entspricht hier, wie auch sonst, denjenigen Bedingungen, welche für die Wahrnehmung der Aussenwelt die günstigsten sind, welche die feinste Unterscheidung und Beobachtung zulassen.

Dass bei einer gewissen mittleren Helligkeit die Unterscheidung der zartesten Schatten und der durch sie ausgedrückten Modellirung der Flächen die feinste sei, ist oben schon erwähnt worden. Ich möchte Ihre Aufmerksamkeit hier noch einem anderen Punkte zulenken, der für die Malerei gerade grosse Wichtigkeit hat, nämlich der natürlichen Lust an den Farben, die unverkennbar einen grossen Einfluss auf unser Wohlgefallen an den Werken der Malerei hat. In seinen einfachsten Aeusserungen, als Lust an bunten Blumen, Federn, Steinen, an Feuerwerk und bengalischer Beleuchtung, hat dieser Trieb mit dem Kunsttrieb des Menschen noch nicht viel zu schaffen, sondern erscheint nur als die natürliche Lust des empfindenden Organismus an wechselnder und mannigfacher Erregung seiner verschiedenen Empfindungsnerven, die für das gesunde Fortbestehen und die Leistungsfähigkeit derselben noth-

Digitized by Google

wendig ist. Aber die durchgreifende Zweckmässigkeit in dem Bau der lebenden Organismen, woher sie auch stammen möge, lässt es nicht zu, dass in der Majorität der gesunden Individuen ein Trieb sich ausbilde oder erhalte, der nicht bestimmten Zwecken diene.

Für die Lust am Licht und an den Farben, der Scheu vor der Finsterniss haben wir in dieser Beziehung nicht weit zu suchen; sie fällt zusammen mit dem Streben zu sehen, und die umgebenden Gegenstände zu erkennen. Die Finsterniss verdankt den grösseren Theil des Grauens, welches sie einflösst, offenbar der Furcht vor dem Unbekannten und Unerkennbaren, dem man sich gegenübergestellt sieht. Ein farbiges Bild giebt eine viel genauere, reichere und leichtere Anschauung der dargestellten Gegenstände als eine gleich ausgeführte Zeichnung, welche nur die Gegensätze des Hell und Dunkel bewahrt. Letztere bewahrt auch das Gemälde; auf ihm kommen aber dazu noch die Unterscheidungsmerkmale, welche die Farben darbieten, durch welche Flächen, die in der Zeichnung gleich hell erscheinen, bald als verschiedenfarbig verschiedenen Objecten zugewiesen werden, bald gleichfarbig sich als Theile desselben oder gleichartiger Objecte darbieten. Indem der Künstler diese natürlich gegebenen Beziehungen benutzt, wird es ihm leicht durch hervortretende Farben die Aufmerksamkeit des Beschauers auf die Hauptgegenstände des Gemäldes hinzulenken und an diese zu fesseln, durch die Verschiedenheit der Gewänder die Figuren von einander zu trennen, jede einzelne aber in sich zusammenzuhalten. Ja selbst die natürliche Lust an den reinen stark gesättigten Farben findet in dieser Richtung ihre Rechtfertigung. Es verhält sich mit diesen wie in der Musik mit den vollen, reinen, wohltönenden Klängen einer schönen Stimme. Eine solche ist ausdrucksvoller; das heisst jede kleinste Aenderung ihrer Tonhöhe oder Klangfarbe, jede kleine Unterbrechung, jedes Zittern, jede Schwellung oder Abschwellung derselben giebt sich viel deutlicher augenblicklich dem Hörer zu erkennen, als dasselbe bei einer weniger regelmässig abfliessenden Tonbewegung der Fall sein würde, und es scheint auch, dass der starke Empfindungsreiz, den sie im Ohre des Hörers hervorruft, viel gewaltiger als ein schwächerer Reiz gleicher Art Vorstellungsverbindungen und Affecte wachruft. Aehnlich verhält es sich mit den reinen Farben. Eine reine Grundfarbe verhält sich kleinen Einmischungen anderer Farben gegenüber wie ein dunkler Grund, auf welchem der kleinste Lichthauch sichtbar wird. Wie empfindlich Kleiderstoffe von gleichmässig gesättigter Farbe gegen Beschmutzung sind im Vergleich mit der

Digitized by Google

Unempfindlichkeit grauer oder graubrauner Stoffe, wird jede der anwesenden Damen oft genug erfahren haben. Es entspricht dies auch den Folgerungen aus der Young'schen Farbentheorie. Nach dieser rührt die Empfindung jeder der Grundfarben von der Erregung nur einer Art farbenempfindender Fasern her, während die beiden anderen Arten in Ruhe sind, oder wenigstens nur verhältnissmässig schwach erregt werden. Eine glänzende gesättigte Farbe giebt also starke Erregung und daneben doch grosse Empfindlichkeit in den zur Zeit ruhenden Fasersystemen des Sehnerven gegen Einmischung anderer Farben. Die Modellirung einer farbigen Fläche beruht aber zum grossen Theil auf den Reflexen des andersfarbigen Lichtes, welches von aussen auf sie fällt. Namentlich wenn der Stoff glänzt, sind die Reflexe der glänzenden Stellen überwiegend von der Farbe des beleuchtenden Lichtes; in der Tiefe der Falten dagegen reflectirt die farbige Fläche gegen sich selbst, und macht dadurch ihre eigene Farbe noch gesättigter. Eine weisse Fläche dagegen von grösserer Helligkeit wird blendend und dadurch unempfindlich gegen schwache Schattenabstufungen. So können starke Farben durch die starke Erregung, die sie hervorbringen, das Auge des Beschauers mächtig fesseln und doch ausdrucksvoll für die zarteste Aenderung der Modellirung oder der Beleuchtung, das heisst also ausdrucksvoll im malerischen Sinne sein.

Bedecken sie andererseits zu grosse Flächen, so bringen sie schnell Ermüdung für die hervorstechende Farbe und Abstumpfung der Empfindlichkeit gegen dieselbe hervor. Diese Farbe selbst wird dann grauer und auf allen anders gefärbten Flächen kommt ihre Complementärfarbe zum Vorschein, namentlich auf grauen oder schwarzen Flächen; daher allzu lebhaft gefärbte einfarbige Kleider und noch mehr Tapeten etwas Beunruhigendes und Ermüdendes haben; die Kleider ausserdem für die Trägerin den Nachtheil bringen, dass sie Gesicht und Hände mit der Complementärfarbe überziehen. Blau erzeugt dabei Gelb, Violett giebt Grüngelb, Purpurroth Grün, Scharlachroth Blaugrün und umgekehrt giebt Gelb Blau u. s. w. Für den Künstler tritt ausserdem noch der Umstand in Betracht, dass die Farbe für ihn ein einflussreiches Mittel ist die Aufmerksamkeit des Beschauers nach seinem Willen zu leiten. Um dies zu können, muss er aber die gesättigten Farben sparsam anwenden, sonst zerstreuen sie die Aufmerksamkeit, das Bild wird bunt. Andererseits wird es nöthig die einseitige Ermüdung des beschauenden Auges durch eine zu hervorstechende

Digitized by Google

Farbe zu vermeiden. Das geschieht entweder dadurch, dass die hervorstechende Farbe in mässiger Ausdehnung auf stumpfem, schwach gefärbtem Grunde angebracht wird, oder aber durch Nebeneinanderstellung verschiedener gesättigter Farben, die ein gewisses Gleichgewicht der Erregung im Auge hervorbringen, und sich gegenseitig im Contrast durch ihre Nachbilder auffrischen und steigern. Eine grüne Fläche nämlich, auf welche das grüne Nachbild einer vorher gesehenen purpurrothen fällt, erscheint in viel gesättigterem Grün, als ohne ein solches Nachbild. Durch die Ermüdung gegen Purpur, das heisst gegen Roth und Violett, wird die Einmischung jeder Spur dieser beiden anderen Farben in das Grün abgeschwächt, während dieses selbst seinen vollen Eindruck hervorbringt. Auf diese Weise wird die Empfindung des Grün von jeder fremden Einmischung gereinigt. Selbst das reinste und gesättigteste Grün, was uns die Aussenwelt im prismatischen Farbenspectrum zeigt, kann auf diese Weise noch eine grössere Sättigung gewinnen. So findet man, dass auch die übrigen oben genannten Paare von Complementärfarben durch ihren Contrast sich gegenseitig glänzender machen, während Farben, die einander sehr nahe stehen, sich durch ihre Nachbilder gegenseitig schädigen und grau machen.

Diese Beziehungen der Farben zu einander haben offenbar einen grossen Einfluss auf den Grad des Wohlgefallens, welches uns verschiedene Farbenzusammenstellungen gewähren. Man kann ohne Schaden zwei Farben zusammenstellen, die einander so ähnlich sind, dass sie wie Abänderungen derselben Farbe, erzeugt durch verschiedene Beleuchtung und Beschattung, erscheinen. So kann man auf Scharlachroth schattigere Theile Carminroth, oder auf Strohgelb die letzteren Goldgelb machen. Geht man aber über diese Grenze hinaus, so kommt man zu hässlichen Zusammenstellungen, wie Carminroth und Orange (Gelbroth) oder Orange und Strohgelb. Man muss dann den Abstand der Farben vergrössern, um wieder zu angenehmen Zusammenstellungen zu kommen. Die am fernsten von einander stehenden Paare sind die Complementärfarben. Diese zusammengestellt, wie Strohgelb und Ultramarinblau, oder Spangrün und Purpur, haben etwas Nüchternes und Grelles, vielleicht weil wir die zweite Farbe schon überall als Nachbild der ersten auftreten zu sehen erwarten müssen, und die zweite Farbe deshalb nicht hinreichend als neues selbstständiges Element der Verbindung sich zu erkennen giebt. Es sind deshalb im Ganzen die Verbindungen solcher Paare am

Digitized by Google

gefälligsten, bei denen die zweite Farbe der Complementärfarbe der ersten nahe kommt, aber doch noch mit deutlicher Abweichung. So sind Scharlachroth und grünliches Blau complementär. Gefälliger aber als dieses Paar wird die Zusammenstellung, wenn wir das grünliche Blau entweder in Ultramarinblau oder in gelbliches Grün (Blattgrün) übergehen lassen. Im letzteren Falle hat dann die Zusammenstellung ein Uebergewicht nach der Seite des Gelb, im ersteren nach der Seite des Rosenroth. Noch befriedigender als solche Farbenpaare sind aber Zusammenstellungen von je drei Farben, welche das Gleichgewicht des Farbeneindruckes herstellen und dadurch trotz starker Farbenfülle einseitige Ermüdung des Auges vermeiden, ohne doch in die Kahlheit der complementären Zusammenstellungen zu verfallen. Dahin gehört die vielgebrauchte Zusammenstellung der venetianischen Meister Roth, Grün, Violett, und Paul Veronese's Purpurroth, grünlich Blau und Gelb. Die erstere Triade entspricht annähernd den drei physiologischen Grundfarben, so weit diese durch Farbstoffe herzustellen sind, die letztere giebt die drei Mischungen aus je zwei Grundfarben. Uebrigens ist zu bemerken, dass feste Regeln über die Harmonie der Farben von ähnlicher Präcision und Sicherheit, wie sie für die Consonanz der Töne gelten, sich bisher noch nicht haben aufstellen lassen. Im Gegentheil zeigt die Durchmusterung der Thatsachen [1]), dass eine Menge von Nebeneinflüssen sich dabei geltend machen, namentlich sobald die farbige Fläche gleichzeitig ganz oder theilweise eine Darstellung von Naturobjecten oder von körperlichen Formen geben soll, oder auch nur Aehnlichkeit mit der Darstellung eines Reliefs, beschatteter und nicht beschatteter Flächen darbietet. Ausserdem ist es oft schwierig auch nur thatsächlich festzustellen, welche Farben es eigentlich sind, die den harmonischen Eindruck erzeugen. Im höchsten Grade ist dies der Fall auf den eigentlichen Gemälden, wo die Luftfärbung, die farbigen Reflexe und Schatten den Farbenton jeder einzelnen farbigen Fläche, wenn sie nicht ganz eben ist, so mannigfach verändern, dass eine eindeutige Bestimmung ihres Farbentones kaum zu geben ist. Ausserdem ist in solchen die directe Farbenwirkung auf das Auge nur ein untergeordnetes Hilfsmittel, da andererseits die hervortretenden Farben und Lichter auch wesentlich der Hinlenkung der

---

[1]) Siehe darüber: E. Brücke, die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe. Leipzig, 1866. — W. v. Bezold, die Farbenlehre im Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe. Braunschweig, 1874.

Digitized by Google

Aufmerksamkeit auf die wichtigeren Punkte der Darstellung dienen müssen. Neben diesen mehr poetischen und psychologischen Momenten der Darstellung treten die Rücksichten auf die wohlthätige Wirkung der Farben weit zurück. Nur in der reinen Ornamentik auf Teppichen, Gewändern, Bändern, architektonischen Flächen waltet das blosse Gefallen an den Farben ziemlich frei und kann sich nach seinen eigenen Gesetzen entwickeln.

In den Gemälden herrscht übrigens in der Regel nicht volles Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Farben, sondern es herrscht eine derselben bis zu einem gewissen Grade vor, die der Farbe der herrschenden Beleuchtung entspricht. Das wird zunächst schon durch die naturgetreue Nachahmung der physikalischen Verhältnisse bedingt. Ist die Beleuchtung reich an gelbem Licht, so werden gelbe Farben leuchtender und glänzender erscheinen, als blaue; denn gelbe Körper sind solche, die gelbes Licht vorzugsweise gut reflectiren, während dasselbe von blauen nur schwach zurückgeworfen, grossentheils verschluckt wird. Im Gegentheil wird sich vor den beschatteten Theilen der blauen Körper das gelbe Luftlicht geltend machen und das Blau mehr oder weniger zu Grau abstumpfen. Dasselbe wird in geringerem Maasse auch vor Roth und Grün geschehen, so dass auch diese Farben in ihren beschatteten Theilen ins Gelbliche hinübergezogen werden. Weiter entspricht dieses Verhältniss aber auch in hohem Grade den ästhetischen Forderungen der künstlerischen Einheit der Farbencomposition. Es wird dadurch bedingt, dass auch die abweichenden Farben überall, am deutlichsten in ihren beschatteten Theilen, die Beziehung auf die herrschende Farbe des Gemäldes zeigen und auf diese hinweisen. Wo dies fehlt, fallen die verschiedenen Farben hart und grell auseinander und machen, da jede die Aufmerksamkeit an sich fesselt, einerseits einen bunten und zerstreuenden Eindruck, andererseits einen kalten, da der Anschein eines über die Objecte ausgegossenen Lichtscheines mangelt.

Ein natürliches Vorbild für die künstlerische Harmonie, welche eine wohldurchgeführte Beleuchtung der Luftmassen in einem Gemälde hervorzubringen vermag, haben wir in der Sonnenuntergangsbeleuchtung, welche auch über die ärmlichste Gegend ein Meer von Licht und Farben auszugiessen und sie dadurch harmonisch zu verklären vermag. Der natürliche Grund für die Steigerung der Luftbeleuchtung liegt hierbei darin, dass die trüberen unteren Luftschichten nahehin in der Richtung der Sonne liegen und daher viel stärker reflectiren, während zugleich die rothgelbe

Digitized by Google

Farbe des durch die Atmosphäre gegangenen Lichtes sich deutlicher entwickelt auf dem langen Wege, den dieses dann gerade durch die getrübtesten Luftschichten zurückzulegen hat, und dass ferner diese Färbung bei der eintretenden Beschattung des Hintergrundes stärker hervortritt.

Wenn wir die Summe der angestellten Betrachtungen noch einmal kurz zusammenfassen wollen, so haben wir zunächst gesehen, welchen Beschränkungen die Forderung der Naturwahrheit in der malerischen Darstellung unterliegt, wie das hauptsächlichste von der Natur uns gewährte Hilfsmittel die Tiefenausdehnung des Gesichtsfeldes zu erkennen, nämlich das zweiäugige Sehen, dem Maler fehlt, oder sich vielmehr gegen ihn kehrt, indem es uns unzweideutig die Flachheit des Gemäldes anzeigt, wie deshalb der Künstler theils die perspectivische Anordnung seiner Gegenstände, ihre Lage und Wendung, theils die Beleuchtung und Beschattung geschickt wählen muss, um uns ein unmittelbar verständliches Bild ihrer Grösse, Gestalt und Entfernung zu geben, und wie schon in diesem Gebiete sich die getreue Darstellung des Luftlichtes als eines der wichtigsten Mittel, diesen Zweck zu erreichen, zeigte.

Dann haben wir gesehen, dass auch die Scala der Lichtstärke, wie sie uns an den Objecten entgegentritt, auf dem Gemälde in eine total, zuweilen um das Hundertfache abweichende Scala verwandelt werden muss, wie dabei keineswegs die Körperfarbe der Gegenstände einfach durch die Körperfarbe des Farbengemisches nachgeahmt werden darf, wie vielmehr einflussreiche Aenderungen in der Vertheilung von Licht und Dunkel, von gelblichen und bläulichen Farbentönen nöthig werden.

Der Künstler kann die Natur nicht abschreiben, er muss sie übersetzen; dennoch kann diese Uebersetzung uns einen im höchsten Grade anschaulichen und eindringlichen Eindruck nicht bloss der dargestellten Gegenstände, sondern selbst der im höchsten Grade veränderten Lichtstärken geben, unter denen wir sie sehen. Ja, die veränderte Scala der Lichtstärken erweist sich sogar in vielen Fällen als vortheilhaft, indem sie Alles beseitigt, was an den wirklichen Gegenständen zu blendend und zu ermüdend für das Auge ist. So ist die Nachahmung der Natur in dem Gemälde zugleich eine Veredlung des Sinneneindruckes. Wir können auch in dieser Beziehung der Betrachtung des Kunstwerkes ruhiger und

Digitized by Google

dauernder nachhängen, als in der Regel der der Wirklichkeit. Das Kunstwerk kann diejenigen Lichtabstufungen und Farbentöne herstellen, wo die Modellirung der Formen am deutlichsten und daher am ausdrucksvollsten ist. Es kann eine Fülle lebhaft glühender Farben vorführen und durch geschickte Contrastirung derselben die Reizempfänglichkeit des Auges in wohlthätigem Gleichgewicht erhalten. So kann es ungescheut die ganze Energie kräftiger sinnlicher Erregungen und das mit ihnen verknüpfte Lustgefühl zur Fesselung und Lenkung der Aufmerksamkeit verwenden, ihre Mannigfaltigkeit zur Erhöhung der unmittelbar anschaulichen Verständlichkeit des Dargestellten benutzen und dabei doch das Auge in dem für fein unterschiedene sinnliche Wahrnehmungen günstigsten und wohlthuendsten Zustande mässiger Erregung erhalten.

Wenn ich in den vorgeführten Betrachtungen fortdauernd viel Gewicht auf die leichteste, feinste und genaueste sinnliche Verständlichkeit der künstlerischen Darstellung gelegt habe, so mag dies vielen von Ihnen als eine sehr untergeordnete Rücksicht erscheinen, eine Rücksicht, die, wo sie von Aesthetikern überhaupt erwähnt wurde, doch meist nur als Nebensache behandelt worden ist. Ich glaube aber mit Unrecht. Die sinnliche Deutlichkeit ist durchaus kein niedriges oder untergeordnetes Moment bei den Wirkungen der Kunstwerke; mir hat sich ihre Wichtigkeit immer mehr aufgedrängt, je mehr ich den physiologischen Momenten in diesen Wirkungen nachgespürt habe.

Was soll auch ein Kunstwerk, dies Wort in seinem höchsten Sinne genommen, wirken. Es soll unsere Aufmerksamkeit fesseln und beleben, es soll eine reiche Fülle von schlummernden Vorstellungsverbindungen und damit verknüpften Gefühlen in mühelosem Spiele wachrufen und sie zu einem gemeinsamen Ziele hinlenken, um uns die sämmtlichen Züge eines idealen Typus, die in vereinzelten Bruchstücken und von wildem Gestrüpp des Zufalls überwuchert in unserer Erinnerung zerstreut daliegen, zu lebensfrischer Anschauung zu verbinden. Nur dadurch scheint sich die der Wirklichkeit so oft überlegene Macht der Kunst über das menschliche Gemüth zu erklären, dass die erstere immer Störendes, Zerstreuendes und Verletzendes in ihre Eindrücke mengt, die Kunst alle Elemente für den beabsichtigten Eindruck sammeln und ungehemmt wirken lassen kann. Die Macht dieses Eindruckes wird aber unzweifelhaft desto grösser sein, je eindringlicher, je feiner, je reicher die Naturwahrheit des sinnlichen Eindrucks ist, der die Vorstellungsreihen und die mit ihnen verbundenen Affecte

Digitized by Google

wachrufen soll. Er muss sicher, schnell, unzweideutig und genau bestimmt wirken, wenn er einen lebendigen und kräftigen Eindruck machen soll. Das sind aber im Wesentlichen die Punkte, die ich unter dem Namen der Verständlichkeit des Kunstwerkes zusammenzufassen suchte.

So sind die Eigenthümlichkeiten der künstlerischen Technik, auf welche uns die physiologisch-optische Untersuchung führte, in der That mit den höchsten Aufgaben der Kunst eng verknüpft. Ja wir können vielleicht daran denken, dass selbst das letzte Geheimniss der künstlerischen Schönheit, nämlich das wunderbare Wohlgefallen, welches wir ihr gegenüber empfinden, wesentlich in dem Gefühle des leichten, harmonischen, lebendigen Flusses unserer Vorstellungsreihen begründet sei, die trotz reichen Wechsels wie von selbst einem gemeinsamen Ziele zufliessen, bisher verborgene Gesetzmässigkeit zur volleren Anschauung bringen, und in die letzten Tiefen der Empfindung unserer eigenen Seele uns schauen lassen.

Digitized by Google

WIRBELSTÜRME UND GEWITTER.

Vortrag,

gehalten

in Hamburg im Jahre 1875.

Digitized by Google

Es regnet, wenn es regnen will,
Und regnet seinen Lauf;
Und wenn's genug geregnet hat,
So hört es wieder auf.

Dies Verslein — ich kann nicht einmal mehr herausbringen, wo ich es aufgelesen habe[1]) — hat sich seit alter Zeit in meinem Gedächtniss festgehäkelt, offenbar deshalb, weil es eine wunde Stelle im Gewissen des Physikers berührt und ihm wie ein Spott klingt, den er nicht ganz abzuschütteln vermag, und der noch immer trotz aller neugewonnenen Einsichten in den Zusammenhang der Naturerscheinungen, trotz aller neu errichteten meteorologischen Stationen und unübersehbar langen Beobachtungsreihen nicht gerade weit vom Ziele trifft. Unter demselben Himmelsgewölbe, an welchem die ewigen Sterne als das Sinnbild unabänderlicher Gesetzmässigkeit der Natur einherziehen, ballen sich die Wolken, stürzt der Regen, wechseln die Winde, als Vertreter gleichsam des entgegengesetzten Extrems, unter allen Vorgängen der Natur diejenigen, die am launenhaftesten wechseln, flüchtig und unfassbar jedem Versuche entschlüpfend, sie unter den Zaum des Gesetzes zu fangen. Wenn der Astronom entdeckt, dass eine Sonnenfinsterniss 600 Jahre vor Christo um fünf Viertelstunden falsch aus seiner Rechnung hervorgeht, so verräth ihm dies bisher noch nicht gekannte Einflüsse von Ebbe und Fluth auf die Bewegung der Erde und des Mondes, und der Schiffer auf fernem Meere controlirt seine Uhr nach den ihm vorausgesagten Augenblicken, wo die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten eintreten werden. Fragt man dagegen einen Meteorologen, was morgen für Wetter sein werde, so wird man durch die Antwort jedenfalls erinnert an Bürger's „Mann, der das Wenn und das Aber erdacht", und man darf es den Leuten kaum verdenken, wenn sie bei solchen Gelegenheiten lieber auf Hirten und Schiffer vertrauen, denen die Achtsamkeit auf die

[1]) Es ist von Goethe (1883).

Digitized by Google

Vorzeichen der Witterung durch manchen Regen und Sturm eingepeitscht worden ist[1]).

Wir sind nun freilich durch das, was uns die naturwissenschaftlichen Studien der letzten Jahrhunderte über die allwaltende Gesetzmässigkeit der Natur gelehrt haben, soweit vorgeschritten, dass wir nicht mehr „den wolkensammelnden Zeus, Kronion, den Schleudrer der Blitze", als den Anstifter alles guten und bösen Wetters zu beschuldigen pflegen, sondern wenigstens in abstracto der Ueberzeugung huldigen, dass es sich dabei nur um ein Spiel wohlbekannter physikalischer Kräfte, des Luftdrucks, der Wärme, des verdunstenden und wieder niedergeschlagenen Wassers handelt. Wenn wir aber unsere Abstraction in das Concrete übersetzen sollen, wenn wir aus unserer mühsam errungenen und bei tausend anderen wissenschaftlichen und technischen Anwendungen als genau und zuverlässig bewährten Kenntniss der in Betracht kommenden Kräfte auf die Witterung eines einzelnen Ortes und einer bestimmten Woche schliessen sollen, so könnte man versucht sein, ein deutsches Sprüchwort anzuwenden, — statt dessen ich lieber das höflichere lateinische: „hic haeret aqua" hersetzen will.

Warum ist das nun so? Das ist eine Frage, die, abgesehen von der Wichtigkeit, die eine Lösung der meteorologischen Räthsel für den Schiffer, den Landmann, den Reisenden haben würde, doch auch ein viel weiter reichendes allgemeines Interesse für die Theorie des wissenschaftlichen Erkennens überhaupt hat. Ist es möglich Gründe nachzuweisen dafür, dass der rebellische und absolut unwissenschaftliche Dämon des Zufalls dieses Gebiet noch immer gegen die Herrschaft des ewigen Gesetzes, welche zugleich die Herrschaft des begreifenden Denkens ist, vertheidigen darf? und welches sind diese Gründe?

Nun lehrt ein Blick auf die Erdkarte zunächst eine Ursache der ausserordentlichen Verwickelung der meteorologischen Vorgänge kennen; das ist die höchst unregelmässige Vertheilung von Land und Meer und die ebenso unregelmässige Erhebung der Landflächen in ihrem Innern. Wenn man berücksichtigt, dass die einstrahlende Sonnenwärme trocknen Erdboden nur in seiner oberflächlichsten Schicht, da aber sehr stark, erhitzt, während sie in das Wasser tiefer eindringt und dieses deshalb weniger stark, dafür aber in grösserer Masse erwärmt, dass

[1]) Dies ist vor der Einrichtung der täglichen telegraphischen Witterungsberichte geschrieben (1883).

Digitized by Google

erwärmtes Land wenig, erwärmtes Wasser viel verdunstet, dass wiederum die Bedeckung des Landes mit Pflanzen verschiedener Art, wie die Farbe und Art des oberflächlich zu Tage stehenden Erdreichs oder Gesteins den grössten Einfluss auf die Erwärmung der darüber lagernden Luftschichten hat, so begreift man wohl, dass es keine leichte Aufgabe sein kann, das Exempel auszurechnen, welche Erfolge alle diese verschiedenen Verhältnisse zusammenwirkend hervorbringen müssen, selbst wenn wir für jeden Quadratfuss der Erdoberfläche anzugeben wüssten, wie seine Beschaffenheit in Bezug auf die Wärmeverhältnisse ist.

Wenn aber auch eine solche Rechnung noch nicht auszuführen ist, so sollte man doch erwarten, dass, wie es z. B. bei dem ähnlichen Probleme der Ebbe und Fluth schon gelungen ist, die Beobachtung des Witterungsverlaufs in einem oder einigen Jahren Schlüsse auf die übrigen Jahre zulassen werde. Auch Ebbe und Fluth werden durch regelmässig wechselnde Kräfte, die Anziehung der Sonne und des Mondes, unterhalten, und auch für sie hindert die unregelmässige Gestalt des Meeresbeckens die theoretische Berechnung der Fluthhöhe für jeden einzelnen Punkt der Küste. Dennoch genügen hier einige wenige Beobachtungen an einem gegebenen Orte, um den Verlauf von Ebbe und Fluth, Zeit ihres Eintritts und Höhe für die einzelnen Tage vor- und rückwärts mit ausreichender Genauigkeit zu berechnen. Es brauchen nur zwei für den Ort geltende Grössen, die Höhe der Fluth bei Vollmond oder Neumond und die Zeit, um welche sie sich gegen den Augenblick des Monddurchgangs durch den Meridian verspätet, durch Beobachtung bestimmt zu werden, so kann man Fluthtafeln für den betreffenden Ort vollständig berechnen, wie solche für alle wichtigeren Häfen alljährlich den Seefahrern geliefert und sogar den Fahrplänen der Dampfschiffe zu Grunde gelegt werden.

Warum ist es nun mit dem Wetter anders, da doch alljährlich die Sonne in derselben Weise auf dieselben Flächen von Land und Wasser einwirkt? Warum erzeugen dieselben Ursachen unter scheinbar denselben Bedingungen nicht in jedem Jahre wieder dieselben Wirkungen?

Um diese Frage richtig zu begrenzen, müssen wir zunächst bemerken, dass nicht überall auf der Erde das Wetter so launenhaft ist wie bei uns. In der heissen Zone ist es im Allgemeinen viel regelmässiger. Im Atlantischen Meere südwärts von den Canarischen Inseln bis zum Aequator herrscht Jahr aus, Jahr

Digitized by Google

ein derselbe gleichmässige Nordostpassat bei blauem Himmel und treibt den Schiffer leicht und sicher nach Mittelamerika hinüber. Die Spanier nannten diesen Theil des Oceans deshalb „das Meer der Damen". Aehnlich verhält es sich auf den meisten Meeren der heissen Zone. Im tropischen Amerika ladet man ein, an einem der nächsten Tage „nach dem Gewitter" zu kommen, so bestimmt erwartet man, dass ein solches Nachmittags eintrete. Schon in Südeuropa sind die mittleren Sommermonate ziemlich frei von Störungen, es herrschen dann die nordöstlichen Sommerwinde, die Etesien der Griechen, welche schon Aristoteles beschrieb; wie denn auch schon Nearchos, der Admiral des macedonischen Alexander, den Kriegsplan seiner Expedition nach Indien auf den regelmässigen Wechsel der Monsuns im Indischen Meere baute.

Aber auch in denjenigen Erdstrichen und in den Jahreszeiten, wo das Wetter durch besondere Launenhaftigkeit sich auszeichnet, lässt sich zwischen dem wilden Spiele des Zufalls wenigstens noch ein Rest von Regelmässigkeit erkennen. Es können bei uns gelegentlich einzelne ungewöhnlich kühle Sommertage vorkommen, welche geringere Temperatur haben, als etwa einzelne ausnahmsweise warme Tage des Januar, aber wir sind ganz sicher, dass auch bei uns die Durchschnittstemperatur jedes Sommers höher ist, als die Durchschnittstemperatur jedes Winters. Die Unregelmässigkeiten verschwinden, wenn wir für einen bestimmten Ort die Mittelwerthe nehmen aus längeren Zeitabschnitten oder aus einer grösseren Anzahl von Jahren. So haben in der That die Meteorologen durch lange fortgesetzte Reihen von Beobachtungen die mittleren Temperaturen, Barometerstände, Regenmengen, Windrichtungen für eine Reihe von Stationen und für die einzelnen Monate oder für noch kleinere Zeitperioden von je fünf Tagen zu ermitteln gesucht, um dadurch den regelmässigen Theil der Erscheinungen von dem unregelmässigen zu trennen.

Diesen regelmässigen Theil der Bewegungen, dessen ursächliche Verhältnisse übrigens meist nicht schwer zu entdecken sind, erlaube ich mir zunächst so weit in das Gedächtniss meiner Leser zurückzurufen, als wir nachher der Kenntniss desselben bedürfen werden. Die Erde gewinnt ihre Wärme durch die Sonnenstrahlen, welche ungleichmässig über ihre Oberfläche vertheilt sind, sehr stark in der Nachbarschaft des Aequators wirken, wo sie gegen Mittag nahe senkrecht einfallen, schwach dagegen an den Polen, wo die Sonne sich nie hoch über den Horizont

Digitized by Google

erhebt. Dagegen verliert die Erde ihre Wärme durch Strahlung gegen den kalten Weltraum, und diese geschieht fast gleichmässig von allen Theilen der Oberfläche, zum Theil auch von der Atmosphäre. Eben deshalb bildet die Nachbarschaft des Aequators die heisse Zone; dort wird die Luft am meisten erhitzt, dadurch ausgedehnt und leichter gemacht. In den kalten Zonen rings um die Pole wird dagegen die Erdoberfläche am meisten abgekühlt, und die über ihr stehende Luft am dichtesten und schwersten. Die Luft der kalten Zone wird demzufolge als die schwerere zu Boden sinken und sich längs des Bodens ausbreiten, was sie nur thun kann, indem sie gegen den Aequator hinfliesst. Die Luft der heissen Zone dagegen wird aufsteigen und sich in der Höhe ausbreiten, das heisst oben nach den Polen hin abfliessen. Da nun die dem Aequator zufliessende Luft, wenn sie in die wärmeren Zonen gelangt, sich ihrerseits auch erwärmt und aufsteigt, die in der Höhe zurückfliessende warme dagegen sich kühlt, sobald sie über die kälteren Theile des Bodens gelangt, so gibt dies eine fortdauernde Circulation der ganzen Masse der Atmosphäre, die am Boden überwiegend vom Pole zum Aequator, in der Höhe dagegen vom Aequator zum Pole gerichtet ist. Es sind dies dieselben Ursachen, die über jeder Kerzen- oder Lampenflamme, im Innern jedes geheizten Ofens ein Aufsteigen der Luft bedingen, die in jedem geheizten Zimmer eine Circulation der Luft verursachen, bei welcher die Luft am Ofen aufsteigt, längs der Decke zur Fensterwand fliesst, an dieser niedersinkt und am Boden zum Ofen zurückkehrt.

In der Atmosphäre wird die Richtung dieser Ströme nun noch durch die tägliche Rotation der Erde um ihre eigene Axe erheblich verändert. Diese Bewegung ertheilt jedem Punkte des Aequators eine Geschwindigkeit von 463 Meter für die Secunde in der Richtung von Westen nach Osten; dagegen haben die Parallelkreise von höherer geographischer Breite geringere westöstliche Geschwindigkeit in dem Maasse, in welchem ihr Halbmesser kleiner ist als der des Aequators. In 60 Grad Breite, wo St. Petersburg und Stockholm liegen, ist diese Geschwindigkeit nur noch halb so gross als am Aequator; aber auch diese Hälfte ist noch gleich der Geschwindigkeit einer abgeschossenen Kanonenkugel.

Wenn nun ein Ring von Luft, der über einem Parallelkreise höherer Breite windstill lagert, das heisst an der Rotation dieses Parallelkreises Theil nimmt, gegen den Aequator gleichmässig in

Digitized by Google

allen seinen Theilen vorgeschoben wird, so kommt er zu Parallelkreisen von grösserem Umfang und von grösserer westöstlicher Geschwindigkeit. Jener Luftring muss sich also selbst erweitern, so dass sein Halbmesser, der Abstand von seiner Rotationsaxe, wächst. Das mechanische Gesetz, welches unter diesen Umständen die Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit besagten Luftringes bestimmt, ist das, welches man das Princip von der Erhaltung der Rotationsmomente zu nennen pflegt. Bei der Beschreibung der Planetenbewegungen kommt es vor unter dem Namen des ersten Kepler'schen Gesetzes und wird in der Form ausgesprochen, dass der Radius Vector, die Verbindungslinie eines Planeten mit der Sonne, in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreibt. Oder man kann dies auch in der für die vorliegende Anwendung bequemeren Form aussprechen: Der Theil der Geschwindigkeit eines Planeten, welcher in Richtung einer Kreisbewegung um die Sonne fällt, ist umgekehrt proportional seiner jeweiligen Entfernung von der Sonne.

Dieses selbe Gesetz gilt nun für die Rotationsbewegung aller Körper um irgend welche Axe, wenn die auf sie wirkenden Kräfte nur gegen die Axe hin oder von der Axe weg gerichtet sind. Ein sehr einfaches mechanisches Beispiel kann man dafür gewinnen, wenn man in der Mitte einer Schnur einen schweren Körper, am besten eine durchbohrte Kugel, befestigt und dann die Enden der Schnur mit beiden Händen fassend dieselbe in verticale Lage bringt. Lässt man die Schnur in dieser Lage erschlaffen, so ist es leicht, die Kugel in einem horizontalen Kreise herumschwingen zu machen. Zieht man dann die Schnur straffer an, wodurch die Kugel gegen die verticale Axe ihrer Kreisbahn hingezogen wird, so sieht man dieselbe um so schneller vorwärts eilen, je enger ihre Kreise werden.

Wenden wir dies auf unseren Luftring an, so folgt, dass seine westöstliche Geschwindigkeit, indem er sich dem Aequator nähert und zu Parallelkreisen von grösserer westöstlicher Bewegung vorrückt, im Gegentheil kleiner wird in dem Maasse, als er selbst sich erweitert. Unser Luftring muss also bei seinem Vorrücken gegen den Aequator in der westöstlichen Bewegung zurückbleiben gegen diejenigen Punkte der Erdoberfläche, zu denen er gelangt, das heisst, diesen als Ostwind erscheinen. Umgekehrt werden die mit der grossen Rotationsgeschwindigkeit des Aequators gegen die Pole hinfliessenden Luftmassen stärkere westöstliche Bewegung haben, als die Parallelkreise, zu denen sie

Digitized by Google

gelangen, das heisst, diesen als Westwinde erscheinen. Uebrigens gleicht sich durch den Einfluss der Widerstände, den jeder solcher Luftring durch Reibung am Erdboden, durch Bäume, Häuser, Gebirge erleidet, die Bewegung der Luft wenigstens in ihren unteren Schichten nach einiger Zeit mit der des Bodens unter ihr aus, wodurch die Heftigkeit der östlichen oder westlichen Geschwindigkeit dieser Winde wesentlich gemässigt wird.

Am ungestörtesten erscheinen diese Strömungen über den Meeren der heissen Zone als die sogenannten Passatwinde. Der untere Passat ist der gegen den Aequator hinfliessende Polarstrom; er erscheint auf der nördlichen Hemisphäre als Nordost, auf der südlichen als Südost. Der obere Passat, der auf einzelnen hohen Bergspitzen, wie dem Pic von Teneriffa, dem Mauna-Kea der Sandwichsinseln, beobachtet werden kann und sich auch wohl gelegentlich durch Fortführung vulkanischer Asche bemerklich macht, fliesst in gerade entgegengesetzter Richtung.

Da Westwinde schneller als der unter ihnen liegende Parallelkreis rotiren, Ostwinde langsamer, so haben erstere grössere Centrifugalkraft und drängen deshalb mehr gegen den Aequator hin als letztere. Die Luft der Passatwinde muss deshalb ihre Bewegung mit der des Erdbodens fast ganz ausgeglichen haben, das heisst für den auf der Erde stehenden Beobachter windstill geworden sein, ehe sie aufsteigen, die Centrifugalkraft der oben herrschenden Westwinde überwinden und deren Luftmassen weiter gegen den Pol zurückdrängen kann. So entsteht in der Nähe des Aequators die Zone der Windstillen oder Calmen zwischen den beiden Gürteln der Passatwinde.

Umgekehrt steigert sich, wie schon vorher bemerkt wurde, die Rotationsbewegung der oberen Westwinde, zu je engeren Parallelkreisen sie zurückgedrängt werden, und damit auch ihre Centrifugalkraft. Am Pole selbst würden beide unendlich gross werden, wenn nicht schon vorher durch Reibung und Einwirkung von Widerständen ihre Bewegung geschwächt ist. Nun haben die neueren Untersuchungen der Grösse der Luftreibung ergeben, dass im Innern so ausgedehnter Luftmassen, wie die, mit denen wir hier zu thun haben, die Geschwindigkeitsabnahme durch Reibung verschieden bewegter Luftschichten gegen einander eine äusserst langsame ist. Nur an den Widerständen des Bodens findet schnelle Abnahme der Geschwindigkeit statt. Jedermann weiss, wie gewaltig ein Sturm über die freie Fläche des Meeres

Digitized by Google

und über ausgedehnte Ebenen dahinsaust, welche Stärke er auf Thürmen und vereinzelten Bergspitzen haben kann, während er gleichzeitig in den Strassen der Städte, in Wäldern und zwischen Hügeln ziemlich erträglich ist.

Da demnach unsere zunächst in die oberen Schichten der Atmosphäre aufgestiegenen Westwinde dort ihre äquatoriale Geschwindigkeit und die sie vor höheren Breiten zurückstauende Centrifugalkraft nicht verlieren können, andererseits immer neue aufsteigende Luftmassen schneller Rotation vom Aequator her nachdrängen, so wird die übrigens auch durch Abkühlung allmälig wieder schwerer werdende Luft dieser Westwinde in mittleren Breiten die Atmosphäre endlich bis zum Boden füllen und hier zwei Gürtel überwiegender Westwinde bilden müssen. Zwischen diesen Gürteln und dem Aequator bleiben die Zonen der Passatwinde. Die Grenzen zwischen diesen Zonen schwanken mit dem Stande der Sonne. Im Sommer machen sich die Passate selbst in Südeuropa geltend, als die schon genannten Etesien Griechenlands. Im Winter weichen sie zurück bis zu den canarischen Inseln. Wir liegen dagegen in der Zone des herabgekommenen Aequatorialstroms, der Westwinde, welche am Boden zunächst als Südweste erscheinen; hier können sie ihre Geschwindigkeit sich ablaufen und in Folge dessen allmälig gegen den Pol hin weichen.

Aber die Zone der Westwinde wird häufig durchbrochen durch Ströme kalter Luft, die vom Pole kommen. Denn da die unteren Schichten der Westwinde, wie bemerkt, allmälig die Luftmasse des Pols vermehren, die oberen dagegen von der des Aequators zehren, so drängt von Zeit zu Zeit und an einzelnen Stellen des Ringumfangs die angewachsene und durch andauernde Abkühlung schwer gewordene Luftmasse der kalten Zone die Schicht der Westwinde in die Höhe, streicht als kühler und trockener Nordost über die gemässigte Zone und ergänzt wieder den Luftvorrath der Passatwinde. Dass der ewige Wechsel unserer Witterungsverhältnisse auf dem gegenseitigen Verdrängen kühler, trockener Polarwinde und warmer, feuchter Aequatorialwinde beruht, hat besonders Dove in alle Einzelheiten hinein verfolgt und nachgewiesen. Welche mechanische Verhältnisse es sind, die meines Erachtens dieses Verdrängen bewirken, habe ich im Vorstehenden auseinanderzusetzen gesucht.

Uebrigens erleidet dieses System der Winde mannigfache örtliche Störungen durch Gebirge, welche sich der Strömung

Digitized by Google

widersetzen, sowie durch die abweichenden Temperaturen von Land und Meer. Ersteres ist im Sommer wärmer und bedingt dann aufsteigende, im Winter kälter und bedingt absteigende Ströme, wodurch das oben beschriebene Hauptwindsystem mannigfach verschoben und unterbrochen wird.

Wir haben endlich noch die Circulation des Wassers durch die Atmosphäre zu erwähnen. Wärmere Luft kann mehr Wasserdünste in sich aufnehmen als kalte. Unter Wasserdünsten ist hier aber immer rein gasförmiges Wasser zu verstehen, welches namentlich auch vollkommen durchsichtig ist wie Luft. Erst dann, wenn dunsthaltige Luft gekühlt wird, scheidet sich der Dunst als Nebel aus, das heisst, als staubartig vertheiltes, tropfbar flüssiges Wasser. Hoch in der Atmosphäre schwebende Nebelmassen sehen wir als Wolken. Eine solche Abkühlung, welche den Wasserdunst als Nebel niederschlägt, tritt unter Anderem ein, wenn dunsthaltige Luft, unter geringeren Druck versetzt, sich stark ausdehnt, weil alle Gase bei der Ausdehnung sich kühlen. Ist der Nebel reichlich, so treten die feinen Theilchen des schwebenden Wasserstaubes in grössere, schnell fallende Tropfen zusammen, als Regen. Dies geschieht zum Beispiel in der über der Calmenzone der tropischen Meere lagernden Luft, wenn sie, mit Wärme und Wasserdunst gesättigt, zuerst aufsteigt, um ihren Weg als oberer Passat nach den Polen zurück anzutreten. Dies gibt die schon oben erwähnten tropischen Regen, welche gerade in den Jahreszeiten höchsten Sonnenstandes einzutreten pflegen.

Es ist anzunehmen, dass die von dem Gewichte des niedergeschlagenen Regens befreite Luft zunächst schnell aufsteigt, wobei sie durch die erlangte Geschwindigkeit hoch über ihre Gleichgewichtslage hinausgeführt wird und sich dabei vorübergehend so stark dehnt und kühlt, dass sie sehr viel von ihrem Wasser verliert und nun einen langen Weg als oberer Passat zurücklegen kann, ehe sie bei der weiteren Abkühlung, die sie durch Strahlung gegen den Weltraum hin und durch die Berührung mit kühleren Landstrichen erleidet, zu neuen Niederschlägen veranlasst wird. Diese erfolgen endlich an der Grenze der Passatzone, als die sogenannten subtropischen Regen. In unserem Winter fallen sie auf Südeuropa, ziehen dann im Frühsommer über Deutschland nordwärts und kehren im Herbste zurück. In unseren Breiten sind es deshalb der Regel nach die westlichen Winde, das heisst die herabgestiegenen Aequatorialströme, welche den Regen bringen.

Digitized by Google

Dies ist in kurzen Zügen das grosse System der regelmässigen Circulation von Luft und Wasser in der Erdatmosphäre, beständig unterhalten durch die beständige Temperaturdifferenz zwischen der heissen und kalten Zone. Es giebt, wie ich schon angeführt habe, breite Striche der Erdoberfläche, wo die Regelmässigkeit dieser Vorgänge kaum gestört wird; desto auffallender ist die Heftigkeit oder Häufigkeit solcher Störungen an anderen Stellen. Am lehrreichsten und verständlichsten sind diese Störungen, wenn sie in der heissen Zone gelegentlich den gewöhnlich überaus regelmässigen Verlauf der meteorologischen Vorgänge unterbrechen. Hier ist der ganze Mechanismus ihrer Entstehung und das Spiel der Kräfte, die während ihrer Dauer entfesselt werden, verhältnissmässig durchsichtig, weil kein zu verwickeltes System von störenden Ursachen in einander greift, wie letzteres in kühleren Zonen gewöhnlich der Fall ist.

Diese die Regelmässigkeit der tropischen Witterung unterbrechenden Luftbewegungen sind die Orkane oder Wirbelstürme. Es sind Stürme von furchtbarer Gewalt, die vorzugsweise an gewissen Stellen der tropischen Meere auszubrechen pflegen. Diejenigen, welche schliesslich auch Europa heimsuchen, haben ihren Ursprung im tropischen Theile des Atlantischen Meeres, meist nahe bei den Antillen; aber auch der Indische und Chinesische Ocean sind übel berüchtigt wegen ihrer Orkane. Es ist nicht das kleinste von Dove's grossen Verdiensten um die Meteorologie, dass er die Wirbelform dieser Stürme herausgefunden hat bei Gelegenheit eines solchen, der Weihnachten 1821 über Europa zog; seine 1828 veröffentlichte Ansicht wurde demnächst durch die Untersuchungen von Redfield (1831) und Reid (1838) über die westindischen Wirbelstürme bestätigt; jetzt ist dieses Verhältniss allgemein anerkannt.

Im Centrum eines solchen Wirbels findet sich in der Regel ein Raum von geringer Luftbewegung, oder selbst ganz windstill; letzteres wahrscheinlich meist im Anfange, während bei weiter Fortpflanzung des Sturmes auch die ruhende Mitte allmälig in die Bewegung hineingezogen wird. Dieses Centrum hat bei den grösseren Orkanen drei bis sieben geographische Meilen Durchmesser und zeichnet sich durch einen ganz auffallend niedrigen Barometerstand aus; zuweilen beträgt die Differenz $1^1/_2$ bis $2^3/_4$ Zoll im Vergleich zur Peripherie des Sturmes. Es ist dies ein Zeichen dafür, dass die Luftmasse im Innern des Wirbels erheblich vermindert, gleichsam weggesogen ist.

Digitized by Google

Rings um dieses windstille Centrum und dasselbe umkreisend herrscht dagegen der heftigste Sturm. Der Durchmesser dieser Sturmkreise beträgt zuweilen bis zu 250 geographische Meilen, und selbst derjenige Theil des Orkanes, in welchem der Wind so heftig ist, dass die Schiffer alle Segel einziehen müssen, kann bis zu 100 Meilen Durchmesser haben. Die Richtung der Drehung ist bei den grösseren Wirbelstürmen ganz gesetzmässig. Sie umkreisen auf der nördlichen Hemisphäre ihr Centrum in der Richtung von Nord nach West, Süd, Ost und zurück nach Nord. Auf der südlichen Hemisphäre dagegen laufen sie in gerade entgegengesetzter Richtung. Oder anders gesagt: der Sturm hat dieselbe Richtung der Rotation, wie der Erdboden derjenigen Hemisphäre, auf der er abläuft. Die dem Aequator zugekehrte Seite der Stürme zeigt immer Westwind. Die Richtung des Windes ist aber nicht rein kreisförmig, sondern gleichzeitig unten etwas gegen das Centrum nach innen ziehend, während in der Höhe eigenthümlich zerrissene Wolken einen oberen vom Centrum nach aussen gehenden Strom anzeigen.

Die Wuth, welche diese Stürme nahe ihrem Ursprungsorte in den tropischen Meeren entwickeln, spottet aller Beschreibung; uns in Europa fehlt jede Anschauung von etwas Aehnlichem. Ein Ort der Antillen, gegen welchen hin das Centrum heranzieht, sieht anfangs im Süden eine Unheil verkündende Wolkenbank sich bilden, immer dunkler werden und immer höher steigen; dann beginnt ein östlicher Wind mit steigender Stärke, die Wolken senken sich immer tiefer und entladen sich in mächtigen Regengüssen mit zahllosen flammenden Blitzen. Der Ostwind steigert sich allmälig im Verlaufe der nächsten Stunden zu furchtbarer Höhe. Wenn dann das windstille Centrum mit seiner schwülen Luft und dunklen Wolkendecke herangekommen ist, tritt eine Pause ein. Die Bewohner Westindiens wissen aber schon, dass diese Ruhe nur trügerisch und von kurzer Dauer ist. Bald darauf zieht die andere Seite des Wirbels heran; plötzlich bricht ein gewaltiger Weststurm los, der wiederum einige Stunden, zuletzt sich allmälig abschwächend, dauert. Endlich strahlt die Sonne wieder vom blauen Himmel auf den Schauplatz der Verwüstung hernieder.

Die Verheerungen, welche ein solcher Sturm anrichtet, sein Geheul, seine mechanische Gewalt sind furchtbar. Namentlich wird die Vegetation so zerstört, „als wäre Feuer durch das Land gegangen, welches Alles versengt und verbrannt hätte“.

Digitized by Google

Die meisten Bäume werden umgerissen, was stehen bleibt, vollständig des Laubes beraubt. Häuser werden abgedeckt, umgestürzt. Auf St. Thomas wurde 1837 ein neugebautes Haus von seinen Fundamenten weggerissen und in die Strasse gesetzt; die 24pfündigen Kanonen des Hafenforts von den Wällen geworfen. Ein englischer Officier, der 1831 auf Barbados unter einem Fensterbogen des Erdgeschosses Sicherheit gesucht hatte, hörte vor dem Brausen des Sturmes nicht, dass hinter ihm das Haus einfiel. Grausam leiden natürlich auch die Schiffe; selbst die in den Häfen geankerten werden oft zerschellt oder sinken in den Grund. Die auf offener See befindlichen müssen streben, dem Innern des Wirbels auszuweichen; wenn aber der Sturm so heftig wird, dass sie ihm keine Segel mehr aussetzen dürfen, um ihre Richtung zu wählen, bleibt ihnen nichts übrig, als sich dem Winde zu überlassen. Piddington beschrieb den Weg einer englischen Brigg Charles Heddie, welche im Indischen Meere fünf Tage vom Sturme fortgetrieben, fünf Mal das Centrum des Wirbels in sich verengernden Spiralen umkreist hat. Besonders verheerend ist auch die durch den Sturm verursachte Hebung des Seewassers, welches bald in Form schnell hereinbrechender Ueberfluthungen des Landes auftritt, bald als Spritzschaum meilenweit in das Land hineingeführt wird und Pflanzen wie Fische sterben macht.

Leider zählen die Opfer eines solchen Sturmes an Menschenleben oft genug viele Tausende, theils Seefahrende, theils Landbewohner, die von den stürzenden Häusern und Bäumen erschlagen oder durch die Sturmfluthen weggerissen werden.

Diese mächtigen Luftwirbel bleiben nun nicht an der Stelle stehen, wo sie entstanden sind, sondern bewegen sich in ziemlich regelmässiger Weise vorwärts. Ihr Ursprung scheint immer in 10 bis 20 Grad Breite, also dem Aequator und der Zone der Calmen ziemlich nahe zu liegen. Dann entfernen sie sich aber vom Aequator, und zwar anfangs quer die Richtung der Passate durchschneidend, die nördlichen also nach Nordwest, die südlichen nach Südwest ziehend. Wenn sie an der Grenze der Passate angekommen sind, nehmen sie dagegen eine mehr östliche Richtung. Die des Nordatlantischen Meeres zum Beispiel folgen auf ihrem Wege zunächst der Richtung der westindischen Inselreihe bis in die Gegend von Florida, wobei sie etwa vier bis fünf geographische Meilen in der Stunde durchlaufen, dann ziehen sie der Küste der Vereinigten Staaten nahehin parallel fort.

Digitized by Google

entfernen sich aber gegen Norden allmälig von dieser, um sich quer über den Atlantischen Ocean gegen das nördliche Europa hin zu wenden, wobei sie mit einer Geschwindigkeit von sechs bis acht Meilen in der Stunde fortschreiten. Sie brauchen im Mittel etwa zehn bis zwölf Tage für eine solche Reise von Westindien nach Europa. Während dieser Zeit stumpft sich ihre Gewalt allmälig ab, das Centrum wird mit in die Wirbelbewegung hineingerissen, der Durchmesser des ganzen Wirbels vergrössert sich. Immerhin aber sind sie den Schiffen auch in den europäischen Meeren noch gefährlich genug, und gelegentlich reissen sie auch noch Bäume um und decken Häuser ab. Aber gerade in Bezug auf die Gefahren dieser Art, denen die Schiffe längs der europäischen Küsten ausgesetzt sind, lässt sich am ersten hoffen, dass ein regelmässiges System meteorologischer Telegraphie im Stande sein wird, rechtzeitig Warnungen vor heranziehenden Wirbelstürmen zu geben.

Ich gehe nicht tiefer in die Beschreibung der einzelnen Erscheinungen ein, da uns für unseren besondern Zweck nur die regelmässig wiederkehrenden Theile des ganzen Vorgangs interessiren. Eine sehr anschauliche und bis in die neuesten Zeiten fortgesetzte Uebersicht derselben hat Herr Th. Reye, Professor in Strassburg, in seinem 1872 erschienenen Buche über „die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen“ gegeben.

Wir wenden uns nun zu der Frage, wie es möglich sei, dass die schwachen, durch Temperaturschwankungen hervorgerufenen Druckunterschiede in der Atmosphäre, die sich gewöhnlich nur durch unbedeutende Unterschiede des Barometerstandes verrathen, so furchtbare Entladungen und so gewaltige Bewegungen hervorrufen können. Gerade für die Beantwortung dieser Frage ist, wie mir scheint, durch die genannte Arbeit von Reye ein beträchtlicher Fortschritt gemacht worden, der uns überhaupt einen Blick in die schwankende Natur der Witterungserscheinungen thun lässt.

Es kommt dabei wesentlich an auf den Begriff des labilen Gleichgewichts. Wenn wir einen Stab am oberen Ende fassen und herabhängen lassen, so zieht die Schwere seinen Schwerpunkt möglichst tief nach abwärts; der hängende Stab richtet sich vertical nach unten und ist in dieser Lage in stabilem Gleichgewichte. Stossen wir ihn an oder ziehen wir ihn zur Seite, so kehrt er immer wieder in die frühere verticale Lage zurück; das ist das Charakteristische des stabilen Gleichgewichts.

Digitized by Google

Versuchen wir umgekehrt, denselben Stab auf seine untere Spitze zu stellen, so dass sein Schwerpunkt genau lothrecht oberhalb des Unterstützungspunktes steht, so sollte eine Lage möglich sein, in der ihn die Schwere genau so viel nach rechts wie nach links, auf den Beobachter zu wie von ihm weg zieht, wobei der Stab keinen zureichenden Grund hätte, nach irgend einer Seite zu fallen. Aber wenn es gelänge, für einen Moment einen solchen Zustand herzustellen, den die Mechanik als **labiles Gleichgewicht** bezeichnet, so würde der leiseste Lufthauch, die kleinste Erschütterung des Unterstützungspunktes genügen, um ein Uebergewicht nach irgend einer Seite hin zu erzeugen. Sowie aber der Stab nur erst um ein Minimum nach einer Seite hin abgewichen ist, so zieht ihn die Schwere mit steigender Geschwindigkeit ganz nach dieser Seite herab. Die praktische Bewährung des Satzes vom zureichenden Grunde gelingt hier ebenso wenig wie bei **Buridan's** Esel zwischen zwei Krippen. Das Charakteristische bei diesem Vorgange ist, dass die allerkleinste Kraft oder Bewegung den Stab veranlassen kann, sich nach einer oder der anderen Seite zu wenden, und dass dann die ganze Gewalt seines Falles schliesslich die Gegenstände trifft, die in dieser Richtung liegen.

Beide Arten des Gleichgewichts können auch stattfinden, wenn Flüssigkeiten von verschiedener Dichte in einem Gefäss über einander gegossen werden. Oel über Wasser befindet sich in stabilem Gleichgewicht; ihre Grenzfläche stellt sich horizontal. Sollte etwas Wasser durch irgend eine Störung in das Oel hinaufgetrieben werden, so würde das schwerere Wasser in dem leichteren Oel doch sogleich wieder zurücksinken, während andererseits abwärts getriebenes Oel wieder steigen müsste. Aber auch Wasser über Oel mit vollkommen horizontaler Grenzfläche würde labiles Gleichgewicht geben können, da die Grenzfläche vollkommen gleichen Druck in jedem Punkte haben würde und deshalb in keinem eher als in jedem andern zu weichen brauchte. Sowie aber an einer Stelle das Oel sich etwas höbe, an der anderen das Wasser sich senkte, so müsste das leichtere Oel ganz hinauf, das schwerere Wasser ganz hinunter steigen.

Luft, die eine grössere Wärmemenge enthält, verhält sich nun zu Luft mit geringerer Wärmemenge, wie Oel zum Wasser. Wo beide unter gleichem Drucke neben einander liegen, ist die wärmere die leichtere und steigt nach oben. Uebrigens ist zu

Digitized by Google

bemerken, dass, wenn beide mit einander aufsteigen, beide sich ausdehnen und dadurch abkühlen; doch bleibt dabei die, welche mehr Wärme enthält, immer die wärmere und leichtere. Stabiles Gleichgewicht ist also nur möglich, wenn die an Wärme reichere Luft oben liegt, die weniger reiche unten. Ich darf nicht sagen: „wenn die wärmere oben, die kühlere unten liegt"; denn in der That kann die an Wärme reichere Luft, die in der Höhe sich dehnt und abkühlt, niedrigere Temperatur haben, als die unter ihr liegende, an Wärme ärmere Luft von grösserer Dichtigkeit. Erst wenn beide in derselben Höhe neben einander lägen und demselben Drucke ausgesetzt wären, würde der Unterschied ihrer Temperatur ihrem verschiedenen Wärmegehalte entsprechen. Nun wird aber die Luft hauptsächlich unten am Boden, der die wärmenden Sonnenstrahlen absorbirt, gewärmt, und dadurch könnte labiles Gleichgewicht entstehen. Da aber diese Erwärmung lange Zeit braucht, und ein labiles Gleichgewicht nur für Augenblicke bestehen kann, so kommt es in diesem Falle immer schnell zur Ausgleichung, indem die wärmere Luft aufsteigt. Die zitternde Bewegung der Luft indessen, die man über stark erhitzten Bodenflächen sieht, ist ein Ausdruck dieser Störungen und der dadurch veranlassten unregelmässigen Luftströme.

So ist es aber nur, so lange die verschiedenen Luftschichten gleichartig zusammengesetzt sind. Kommen dagegen trockene und feuchte Luft zusammen, so hat Herr Reye nachgewiesen, dass dann die Möglichkeit zur Ansammlung grosser Luftmassen gegeben ist, die anfangs in stabilem Gleichgewicht sind, welches sich aber bei langsam eintretenden Temperaturänderungen allmälig dem labilen Gleichgewichte nähern, endlich in dieses übergehen kann.

Nach den Berechnungen des genannten Mathematikers, welche auf die neuere mechanische Wärmetheorie, und zwar vorzüglich auf das von Professor Clausius aufgestellte allgemeine Princip derselben gegründet sind, ist neblige Luft nachgiebiger gegen Druckveränderungen als trockene Luft. Jede Gasmasse nämlich, welche auf einen kleineren Raum zusammengedrückt wird, erwärmt sich dabei und widersteht, da die Wärme ihre Spannung vermehrt, deshalb dem auf ihr lastenden Drucke stärker, als sie es ohne Temperaturveränderung thun würde. Ein schneller, heftiger Schlag auf einen Stempel, der die Luft in einem Glas- oder Elfenbeincylinder comprimirt, kann die Luft so heiss machen, dass darin liegender Feuerschwamm sich entzündet. Solche

Digitized by Google

Feuerzeuge finden sich in täglichem Gebrauch bei den Malayen, und in physikalischen Sammlungen sind sie unter dem Namen der pneumatischen Feuerzeuge bekannt. Wenn nun Wassertröpfchen als Nebel in der gepressten Luft schweben, so wird ein Theil der durch die Compression erzeugten Wärme verbraucht, um einen Theil dieses Wassers auch noch in Dampf zu verwandeln, da in der wärmeren Luft trotz ihres geringeren Volumens mehr Wasserdampf bestehen kann als vorher. Nun ergeben Herrn Reye's Rechnungen, dass die Volumenzunahme, welche durch die Neubildung von Dampf aus Wasser bedingt wird, kleiner ist als die Volumenabnahme, die davon herrührt, dass ein Theil der durch die Compression erzeugten Wärme der Luft verloren geht, indem er zur Verwandlung des Wassers in Dampf verwendet wird. Solche neblige Luft wird also bei der Compression nicht ganz so warm als trockene, so dass sie einer gegebenen Zunahme des Druckes mehr nachgibt als die letztere.

Umgekehrt, wenn neblige Luft sich dehnt, so kühlt sie sich ab, wie alle sich ausdehnenden Gasmassen. Aber die Abkühlung ist nicht so stark wie in trockener Luft, weil durch die Kühlung ein Theil des in ihr enthaltenen Wasserdampfes niedergeschlagen wird, und sich als Staub tropfbaren Wassers dem Nebel zugesellt. Dämpfe aber, die sich in Wasser zurückverwandeln, geben die Wärme wieder ab, die vorher zu ihrer Bildung aus Wasser verwendet worden ist, und die neblige Luft wird deshalb nicht ganz so kühl bei der Dehnung wie trocknere Luft. Auch hier ist die Volumenabnahme durch die Verdichtung eines Theils der Dämpfe geringer, als die Volumenzunahme durch die dabei frei gewordene Wärme, so dass im Ganzen neblige Luft unter einer gegebenen Druckverminderung sich stärker dehnt als trockene Luft, vorausgesetzt immer, dass die Luft keine Gelegenheit hat, während dieser Veränderung Wärme von aussen aufzunehmen oder nach aussen abzugeben.

Dadurch kann nun, wenn Massen von trockener und feuchter Luft über einander oder neben einander gelagert sind, eine zweisinnige Art des Gleichgewichts entstehen. Neblige Luft und trockene Luft können solche Temperaturen haben (die trockene etwas wärmer), dass sie in der mittleren Höhe der Atmosphäre gerade gleich schwer sind. Dann wird in der unteren Hälfte des Luftkreises, wo der Druck grösser ist, die neblige Luft die dichtere werden und zu Boden sinken. In der oberen Hälfte der Atmosphäre dagegen wird dieselbe neblige Luft bei geringerem

Digitized by Google

Druck sich mehr dehnen als die trockene, leichter werden und aufsteigen.

Als mechanisches Modell für diesen Vorgang kann ein Glascylinder, etwa einen halben Meter hoch, dienen, den man mit Wasser gefüllt hat, und in den man einen flaschenförmigen Glaskolben mit der Mündung nach unten einsetzt, nachdem man den Hals desselben mit Bleidraht umwunden und ihn dadurch so schwer gemacht hat, dass er beinahe untersinkt. Wenn man oben auf den flachen Boden des Kolbens noch einige Gewichtchen auflegt, kann man es dahin bringen, dass der Kolben in der mittleren Höhe des Cylinders gerade gleich schwer ist, wie das Wasser. Er ist dann an dieser Stelle in labilem Gleichgewicht; sowie er etwas steigt, dehnt sich die in ihm enthaltene Luft, er wird leichter und steigt ganz empor. Wenn er dagegen von jener mittleren Stellung aus etwas sinkt, wird die Luft noch mehr comprimirt und er sinkt ganz unter. Das Wasser in diesem Beispiel, als das weniger comprimirbare, gleicht der trockenen Luft, der Kolben voll nachgiebiger Luft gleicht einer darin schwimmenden Masse nebliger Luft.

Nun denke man sich über einem der tropischen Meere an der Grenze der Calmen, wo wenig Bewegung ist, über viele Tausende von Quadratmeilen ausgebreitet eine warme Luftschicht liegen, welche mit Wasserdämpfen nahehin gesättigt ist. Ueber ihr fliesst der obere Passat, der unmittelbar beim Aufsteigen den grösseren Theil der mitaufsteigenden Wasserdünste durch die tropischen Regen niedergeschlagen hat. Diese obere Luft wird also verhältnissmässig trocken und reich an Wärme sein, da sie die beim Niederschlag frei gewordene latente Wärme behalten hat. Nehmen wir an, das Gleichgewicht sei anfangs noch so, dass an der Grenze zwischen beiden Luftschichten die feuchte untere die schwerere sei. Dann ist das Gleichgewicht noch stabil, und ein solcher Zustand kann sich also ungestört ausbilden und längere Zeit erhalten. Wenn dies an der Grenze der Calmen geschieht, wo die Passatwinde die Luft nicht zu schnell forttreiben, so wird die untere Luft durch fortgesetzte Wirkung der Sonne immer heisser und feuchter, also auch immer leichter werden können. Die obere dagegen wird durch Strahlung gegen den Weltraum eher an Wärme verlieren. Das Gleichgewicht wird deshalb sich allmälig dem labilen nähern. Labil wird es geworden sein, sobald bei dem Drucke, der an der Grenzfläche beider Schichten herrscht, die Dichtigkeit und Schwere beider

Digitized by Google

Luftarten gleich gross geworden ist. Denn dann wird jeder Theil der unteren Schicht, der noch etwas aufsteigt, ganz in die Höhe steigen müssen.

Wenn nun an irgend einer Stelle das Gleichgewicht durchbrochen wird und feuchte Luft unter Bildung von Nebel und Niederschlag von Regen aufsteigt, so bekommt diese Stelle geringeren Druck, weil die mit der aufsteigenden nebligen Luft sich füllenden oberen Schichten leichter werden, als sie vorher waren, und als es die der Nachbarschaft, soweit ringsum oben noch trockene Luft lagert, zur Zeit noch sind. Nach der Stelle, wo der Druck geringer geworden ist, wird von allen Seiten die untere Luft heranströmen müssen, um dann ihrerseits ebenfalls in die aufsteigende Strömung hineingerissen zu werden, während ringum, wo das Gleichgewicht noch stabil war, es durch die Entleerung der feuchten Luft und die Senkung der oberen Grenzfläche derselben in seiner Stabilität noch sicherer wird, hier also keine neue Durchbrechung mehr zu erfolgen braucht. Die aufsteigende und sich stark ausdehnende Luft wird sich in den oberen Gegenden der Atmosphäre ausbreiten, also in der Höhe vom Centrum der Durchbrechung wegfliessen, was auch, wie bemerkt, an den von ihr gebildeten Wolken beobachtet wird. Der ganze Vorgang kann erst dann zum Stillstand und zu einem neuen Gleichgewicht führen, wenn die obere trockene Luft sich soweit gesenkt hat, dass der im Centrum des Wirbels liegende Canal voll feuchter Luft, der die unteren und die aufgestiegenen hohen Schichten feuchter Luft verbindet, im Durchschnitt Luft von derselben Schwere enthält, wie die trockeneren Schichten, die er durchbricht. Das wird bei einem gewissen Grade der Senkung eintreten können, da die feuchte Luft in der Tiefe dichter ist als die trockene, wenigstens wenn sie ihr Wasser nicht als Regen verliert. Da in der Regel aber das Gewicht der feuchten aufsteigenden Luft erheblich vermindert wird, indem der Wassernebel in ihr sich hinreichend verdichtet, um als Regen herab zu fallen, so wird das Aufsteigen wohl meistens keine Grenze finden, ehe nicht die ganze untere feuchte Schicht sich gehoben hat.

Die in den unteren Theilen der Atmosphäre gegen die Durchbruchsstelle herangezogene Luftmasse wird, wenn sie ausgedehnt genug war, einen merklichen Einfluss der Erdrotation zeigen müssen. Denken wir uns einen Luftring von 120 geographischen Meilen Halbmesser, dessen Mittelpunkt mit der Durchbruchsstelle

Digitized by Google

zusammenfällt und der, allmälig enger werdend, gegen diese herangesogen wird. Sein Centrum liege in der Breite von 15°, einer Gegend, auf welche die meisten Beobachtungen als die ungefähre Ursprungsstelle der Wirbelstürme hinweisen. Dann würde sein südlicher Rand in 7° Breite liegen, der nördliche in 23°. Nun ist aber die ostwestliche Bewegung der Erde in 7° Breite nahezu 460 Meter und in 23° Breite 426 Meter in der Secunde. Ein solcher Luftring, in windstiller Luft liegend, würde also an seiner Südseite um 34 Meter grössere Geschwindigkeit in westlicher Bewegung haben, und der Unterschied berechnet sich noch grösser, wenn wir berücksichtigen, dass die Südseite in oder nahe der Zone der Calmen liegt, die Nordseite in den östlich gerichteten Passaten. Diesen Anfangszustand des Luftringes können wir auch so ansehen, als wenn dieser im Ganzen mit der mittleren Geschwindigkeit (443 Meter) seines Centrums fortschritte, aber mit einer Geschwindigkeit von 17 Metern in der Secunde um letzteres rotirte im Sinne der Erdrotation. Das heisst, ein solcher Luftring hat in seiner Bewegung einen gewissen Antheil (eine Componente nach mathematischer Sprachweise) von Rotation, der von der Erdrotation herrührt, aber allerdings bei so grosser Nähe des Aequators nur klein ist.

Zieht sich der Luftring nun aber zusammen, so muss in ähnlicher Weise, wie ich es oben schon für die vom Aequator zum Pole hinfliessenden und sich dabei verengernden Wirbelringe angegeben habe, das Rotationsmoment dieser Bewegung constant bleiben, das heisst ihre Geschwindigkeit wachsen in dem Maasse, als sich der Halbmesser des Kreises verkleinert. Die Rechnung ergiebt, dass ein Luftring von anfänglich 100 geographischen Meilen Halbmesser, dessen Centrum in 15° Breite liegt, eine Geschwindigkeit von $278\frac{1}{2}$ Meter in der Secunde gewinnen wird, wenn er bis auf fünf Meilen Halbmesser zusammengezogen ist. Das wäre eine Geschwindigkeit, wie Kanonenkugeln sie haben.

Den Vorgang der Bildung von Wirbelstürmen kann man nach gewissen Beziehungen hin sehr gut in kleinerem Maassstabe im Wasser nachahmen. Man nehme ein kreisrundes Gefäss, wie das der nebenstehenden Figur, welches eine Oeffnung im Boden hat, die zuerst durch einen Kork geschlossen wird. Durch Rühren mit der Hand setze man das Wasser in langsam rotirende Bewegung und ziehe den Kork aus. Nun beginnt das Wasser der Mitte auszufliessen, es wird durch neues ersetzt, welches von der Peripherie her sich dem Centrum nähert und dessen Rotations-

Digitized by Google

bewegung in dem Maasse, als dies geschieht, zunimmt. Nahe der Mitte wird die Centrifugalkraft dieser heftig rotirenden Ringe so gross, dass der Wasserdruck nicht mehr im Stande ist, eine weitere Verengerung derselben zu bewirken. Dann bildet sich durch die Wassermasse, wie es Fig. 18 zeigt, eine senkrechte,

Fig. 18.



mit Luft gefüllte Röhre, die bis zur unteren Oeffnung hinabreicht, nach oben hin sich trichterförmig erweitert, und gewöhnlich schraubenförmig an ihrer Wand gestreift ist. Diese Röhre hat genau die Form, in der man die Wasserhosen abzubilden pflegt. Wirft man einen Kork in die Röhre hinein, der einerseits weiss, andererseits schwarz bemalt ist, so wirbelt er so schnell herum, dass die beiden Farben sich zu gleichmässigem Grau vermischen. Man kann den Wirbel beliebig lange unterhalten, wenn man das abfliessende Wasser durch eine kleine Pumpe wieder hebt und in tangentialer Richtung längs der Gefässwand wieder in das obere Gefäss hineintreibt, so dass es bei seinem Eintritt sich der Richtung der Wirbelbewegung gleich wieder einfügt. Dazu dient die in der Figur angegebene Röhre t.

Auch hier im Wasser können wir also den Uebergang aus einer ursprünglichen langsamen Wirbelbewegung in eine ausserordentlich schnelle beobachten. Sobald der Wirbel sich ausgebildet hat, fliesst das Wasser nur noch langsam aus, weil der grösste Theil der Ausflussöffnung von der Luftröhre eingenommen wird. Es ist hauptsächlich nur das Wasser vom Boden des Gefässes, was ausfliesst, nachdem es durch Reibung am Glase seine Geschwindigkeit verloren hat. Streut man Sand in das Wasser, der zu Boden sinkt, so wird dieser schnell in Spirallinien gegen die Oeffnung gezogen und hinausgespült, während Stückchen

Digitized by Google

Oblate, die im Wasser schweben bleiben, Viertelstunden lang herumgewirbelt werden können, ohne sich der Oeffnung zu nähern. Dieselbe Spiralbewegung gegen das Centrum hin haben die Wirbelstürme am Erdboden. Auch in diesen dürfen wir annehmen, dass es hauptsächlich die mächtige Centrifugalkraft ist, die das Aufsteigen der warmen Luft verzögert. Erst in dem Maasse, als die gewaltige Rotationsbewegung durch Reibung am Erdboden sich vermindert, wird die Luft in die Höhe steigen können, oben weiter wirbelnd, dann aber ihre Kreise mit Nachlass der Rotation allmälig ausbreitend, in dem Maasse, als neue Luft nachfolgt.

Wenn übrigens ein solcher Wirbel erst einmal ausgebildet ist, so kann er in Luft wie in Wasser lange fortbestehen, auch wenn die Ursachen aufhören zu wirken, die ihn hervorgebracht haben; die Bewegung der Luftmassen in ihren kreisförmigen Bahnen wird durch das Beharrungsvermögen, was jeder schweren Masse zukommt, unterhalten. Sie erlischt erst allmälig durch den Einfluss der Reibung. Ueber die Bewegungsgesetze solcher Wirbel habe ich selbst theoretische Untersuchungen im Jahre 1858 angestellt, deren Resultate sich in einigen einfacheren Fällen durch den Versuch bestätigen liessen. Dieselben sind auch auf die Fortbewegung der grossen atmosphärischen Wirbel anwendbar. In der Zone der Passate werden die Rotationsaxen der Wirbel schief gestellt, da ihr unteres Ende durch den unteren Passat gegen Südwesten, das obere durch den oberen nach Nordosten gedrängt wird. Ein schief gestellter Wirbel aber muss sich fortbewegen in der Richtung, in welcher die Luft durch den spitzen Winkel strömt, den er mit dem Boden macht, das heisst in der nördlichen Passatzone nach Nordwest hin. An der Grenze der Passate kommt dann der Wirbel in das Bereich der überwiegenden südwestlichen und westlichen Winde und folgt diesen zunächst nach Nordost, dann immer mehr nach Ost umbiegend. Gleichzeitig verliert er durch die Reibung am Boden allmälig an Intensität, sobald er in Gegenden kommt, wo der Gegensatz zweier verschiedener Luftschichten nicht mehr so deutlich und regelmässig ist, wie in der Passatzone.

Oft noch recht verderblich, wenn auch kleiner im Umfang als die Wirbelstürme der Meere sind die der Festländer, wie die Tornados von Nordamerika und unsere Wind- und Wasserhosen. Aber auch unsere Gewitter scheinen wesentliche Züge ihrer Erscheinungsweise dem labil werdenden Gleichgewichte verschiedener Luftschichten zu verdanken.

Digitized by Google

Ich habe schon vorher angeführt, dass wir hier im mittleren Europa in einer Zone leben, wo äquatoriale und polare Ströme sich abwechselnd verdrängen. Die ersteren führen Luft herbei, die zwar durch die tropischen Regen einen Theil ihrer Feuchtigkeit verloren hat, aber deren doch noch so viel enthält, dass sie nach der Abkühlung, die sie auf dem Wege bis zur gemässigten Zone erleidet, zu neuen Niederschlägen bereit ist. Ihr Feuchtigkeitsgehalt bei hoher Sommerwärme gibt sich uns durch das Gefühl der Schwüle kund, welches sie erregt, im Gegensatz zu der trocken heissen Luft der sommerlichen Ostwinde. In trocken warmer Luft kann sich unser Körper noch durch Verdunstung kühlen, in feuchter nicht. In einem Raume, dessen Luft wenige Grade über 42° C. erwärmt und mit Feuchtigkeit gesättigt ist, sterben warmblütige Thiere nach einiger Zeit, weil ihr Körper ohne Abkühlungsmittel und fortdauernd innere Wärme durch den Stoffwechsel entwickelnd sich bis über die genannte Temperatur erwärmen muss. Diese schwüle Beschaffenheit der Luft ist es daher, die uns Gewitter erwarten lässt.

Eine Zeit lang stauen sich die beiden gegen einander drängenden Ströme, es wird windstill. Wenn dann aber endlich der vordrängende Polarstrom erst an einer Stelle das Uebergewicht erlangt, dass die feuchtwarme Luft des Weststroms anfängt in die Höhe gedrängt zu werden, so verliert sie schnell ihre ganze Widerstandsfähigkeit, weil der entweichende Theil in den höheren Regionen des Luftmeers sich dehnt und abkühlt, in Folge davon sein Wasser ausscheidet und meist auch sogleich als Regen fallen lässt. Wie bei den Wirbelstürmen wird das emporgestiegene dadurch verhältnissmässig leichter, und zu der Stelle, die so von einem Theile ihres Druckes befreit ist, drängen sogleich die anderen feuchtwarmen Massen nach, um ihrerseits denselben Process durchzumachen. Die aufsteigenden Luftströme, die in der Höhe grosse Massen von Feuchtigkeit niederschlagen, bilden die schnell sich ballenden und hochaufthürmenden Gewitterwolken. Sehr gewöhnlich verstärken sich auch hierbei anfänglich vorhandene schwache Seitenbewegungen der angesogenen Luftmasse zu kräftigen Wirbelwinden, die sowohl dem ersten Beginn des Regens, wie auch seinen nachfolgenden Exacerbationen unmittelbar vorausgehen, aber weniger regelmässige Drehung und Fortschreitung haben, als die grossen Wirbel der Tropen. Das Gewitter zieht ab, wenn es dem Oststrom gelungen ist, den vorher herrschenden schwülen West zu verdrängen, denn das

Digitized by Google

Gewitter ist nichts Anderes als der Process dieser Verdrängung, und die von Reye nachgewiesenen Eigenthümlichkeiten des Gleichgewichts zwischen trockner und feuchter Luft bewirken eben auch in diesem Falle, dass diese Verdrängung, sowie nur der erste Anfang gegeben ist, plötzlich in ganzer Ausdehnung eintritt.

Was die elektrischen Entladungen betrifft, so ist deren Quelle wahrscheinlich ein Vorrath negativer Elektricität, mit dem die Erde dauernd geladen ist. Die Gasarten, selbst reiner, nicht nebliger Wasserdampf, isoliren und können direct mit der Erde keine Elektricität austauschen. Selbst wenn die mit negativer Elektricität beladene Oberfläche des Wassers Dämpfe entwickelt, nehmen diese die Elektricität, welche sie als Wasser enthielten, nicht mit sich fort [1]. Erst, wenn die Wassermassen der Wolken zu herabstürzendem Regen vereinigt einander so nahe kommen, dass Funkenentladung von Tropfen zu Tropfen möglich wird, bilden sie einen gewaltigen Conductor, in den nun auch aus dem Erdboden mächtige Funken, die Blitze, überschlagen können. Blitze sind in der Regel die Zeichen eines in dem Augenblicke erfolgenden neuen heftigen Niederschlags; aber die Regenmasse, aus der sie sich entladen, braucht mehr Zeit, um zur Erde zu kommen, als der elektrische Strahl. Erst einige Secunden nach dem Blitz bemerken wir deshalb den verstärkten Regen, der ihn hervorgebracht hat. Die Zeitfolge, in der die Veränderungen uns wahrnehmbar werden, ist gerade die entgegengesetzte, als die Folge von Ursache und Wirkung. Erst blitzt es, dann verstärkt sich der Regen; nach Ablauf des Regens ist der Wind geändert. Aber die erste Ursache ist der schwerere Ostwind, der herandrängt; er bewirkt den Niederschlag, der Niederschlag den Blitz.

Es ist durchaus nicht unglaublich, dass eine Feuersbrunst oder der Kanonendonner einer Schlacht, wie behauptet worden ist, ein Gewitter herbeiziehen könne. Wenn der entsprechende Zustand unsicheren Gleichgewichts in der Atmosphäre nur erst vorbereitet ist, kann jeder Umstand, der einen ersten kleinen Theil der feuchtwarmen Luftmasse zum Aufsteigen bringt, wie

---

[1] Diese Stelle ist geändert mit Rücksicht auf die im Berliner physikalischen Laboratorium ausgeführten Versuche von Mr. Blake und der von Herrn Werner Siemens gegebenen Erklärung der Blitze.

Digitized by Google

der Funken im Pulverfasse wirken und die Hauptentladung nach der Stelle dieser ersten Störung hinlenken.

In allen den beschriebenen Verhältnissen liegt nichts, was nicht ganz einfach auf der gesetzmässigen Wirkung wohlbekannter physikalischer Kräfte beruhte; nur spielt das labile Gleichgewicht hier eine besondere Rolle, weil bei einem solchen die unbedeutendsten Veranlassungen, die kleinsten Abänderungen der Temperatur, Feuchtigkeit, Geschwindigkeit einzelner Luftmassen bewirken können, dass colossale Kräfte sich im einen oder andern Augenblicke nach dieser oder jener Stelle hin entfesseln. Um vorausberechnen zu können, in welchem Augenblicke und an welchem Orte das labile Gleichgewicht durchbrochen werden wird, müssten wir erstens den vorausgehenden Zustand der Atmosphäre viel genauer kennen, als es wirklich der Fall ist. Denn wir kennen nur Durchschnittswerthe der Temperatur, der Feuchtigkeit, des Windes für die Erdoberfläche, und die genauen Werthe höchstens für einzelne Beobachtungsstationen und Beobachtungsstunden. Zweitens müssten wir im Stande sein, wenn wir erst genaue Data hätten, nun auch die Berechnung des weiteren Verlaufs mit der entsprechenden Genauigkeit durchzuführen. Aber obgleich wir die allgemeinen Regeln für eine solche Berechnung angeben können, wäre ihre wirkliche Ausführung eine so unabsehbare Arbeit, dass wir darauf verzichten müssen, bis bessere Methoden gefunden sind.

Ueberhaupt ist zu bemerken, dass wir nur solche Vorgänge in der Natur vorausberechnen und in allen beobachtbaren Einzelheiten verstehen können, bei denen kleine Fehler im Ansatze der Rechnung auch nur kleine Fehler im Endergebniss hervorbringen. Sobald labiles Gleichgewicht sich einmischt, ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt.

So besteht für unsern Gesichtskreis noch der Zufall; aber er ist in Wirklichkeit nur der Ausdruck für die Mangelhaftigkeit unseres Wissens und die Schwerfälligkeit unseres Combinationsvermögens. Ein Geist, der die genaue Kenntniss der Thatsachen hätte und dessen Denkoperationen schnell und präcis genug vollzogen würden, um den Ereignissen vorauszueilen, würde in der wildesten Launenhaftigkeit des Wetters nicht weniger, als im Gange der Gestirne, das harmonische Walten ewiger Gesetze anschauen, was wir nur voraussetzen und ahnen.

Digitized by Google

DAS

DENKEN IN DER MEDICIN.

Rede

gehalten zur Feier des Stiftungstages der militairärztlichen Bildungs-Anstalten in Berlin am 2. August 1877.

Digitized by Google

Hochgeehrte Herren!

Schon einmal, vor 35 Jahren, habe ich am 2. August vor einer ähnlichen Versammlung, wie die heutige ist, in der Aula dieses Instituts auf dem Katheder gestanden und einen Vortrag über die Operation der Blutadergeschwülste gehalten. Ich war damals noch Eleve des Instituts und gerade am Ende meiner Studienzeit. Da ich nie eine Blutadergeschwulst hatte operiren sehen, so war der Inhalt meines Vortrags freilich nur aus Büchern compilirt; aber Büchergelehrsamkeit spielte damals noch eine viel breitere und angesehenere Rolle in der Medicin, als man ihr heutzutage einzuräumen geneigt ist. Es war eine Zeit der Gährung, des Kampfes zwischen gelehrter Tradition und dem neuen naturwissenschaftlichen Geiste, der keiner Tradition mehr glauben, sondern sich auf die eigene Erfahrung stellen wollte. Meine damaligen Vorgesetzten urtheilten günstiger über meinen Vortrag als ich selbst, und ich bewahre noch die Bücher, welche mir dafür als Prämien zu Theil wurden.

Die bei dieser Gelegenheit sich mir aufdrängenden Erinnerungen haben mir lebhaft das Bild des damaligen Zustandes unserer Wissenschaft, unserer Bestrebungen, unserer Hoffnungen zurückgerufen und mich vergleichen lassen, was damals war, mit dem, was daraus geworden ist. Viel ist geworden. Wenn auch nicht Alles, was wir gehofft hatten, erfüllt wurde, und Manches anders, als wir gehofft, so ist auch Manches geworden, auf das wir nicht zu hoffen gewagt hätten. Wie die Weltgeschichte vor den Augen unserer Generation einige ihrer seltenen Riesenschritte gemacht hat, so auch unsere Wissenschaft; daher ein alter Schüler, wie ich, das einst wohlbekannte, damals etwas matronenhafte Antlitz der Dame Medicin kaum wiedererkennt, wenn er gelegentlich wieder in Beziehung zu ihr tritt; so lebensfrisch und entwickelungskräftig ist sie in dem Jungbrunnen der Naturwissenschaften geworden.

Digitized by Google

Vielleicht ist mir der Eindruck dieses Gegensatzes frischer geblieben, als denjenigen meiner medicinischen Altersgenossen, die ich vor mir als Zuhörer versammelt zu sehen heute die Ehre habe, und die, in dauernder Berührung mit der Wissenschaft und Praxis geblieben, von den in kleinen Stufen sich vollziehenden grossen Aenderungen weniger überrascht und betroffen sein mögen. Dies wird Ihnen gegenüber meine Entschuldigung sein, wenn ich von der in dieser Periode vorgegangenen Metamorphose der Medicin rede, deren Entwickelungsergebnisse im Einzelnen Sie selbst freilich besser kennen werden als ich. Für die Jüngeren aber unter meinen Zuhörern möchte ich den Eindruck dieser Entwickelung und ihrer Ursachen nicht ganz verloren gehen lassen. Wenn dieselben gelegentlich in die Literatur jener Zeit einen Blick werfen, so werden sie dort einer grossen Zahl von Sätzen begegnen, die ihnen fast wie in einer vergessenen Sprache geschrieben erscheinen müssen, so sehr, dass es ihnen nicht ganz leicht werden wird, sich in die Sinnesweise dieser so wenig hinter uns liegenden Periode zurückzuversetzen. Es liegt eine grosse Lehre über die wahren Principien wissenschaftlicher Forschung in dem Entwickelungsgange der Medicin, und der positive Theil dieser Lehre wird vielleicht durch keine vorausgehende Zeit so eindringlich gepredigt, wie durch das letzte Menschenalter. Da mir selbst zur Zeit die Aufgabe zugefallen ist, diejenige von den Naturwissenschaften zu lehren, welche die weitesten Verallgemeinerungen zu machen, den Sinn der Grundbegriffe zu erörtern hat, und der deshalb nicht unpassend bei den englisch redenden Völkern der Name der „Natural Philosophy“ geblieben ist: so fällt es ja wohl nicht zu weit aus dem Kreise meiner Berufsaufgaben und meines eigentlichen Studiums, wenn ich es unternehme, hier von den Principien wissenschaftlicher Methodik für die Erfahrungswissenschaften zu reden.

Was meine Bekanntschaft mit den Gedankenkreisen der älteren Medicin betrifft, so hatte ich dazu ausser der allgemeinen Veranlassung, welche für jeden gebildeten Arzt vorliegt, der die Literatur seiner Wissenschaft und die Richtung, sowie die Bedingungen ihres Fortschreitens verstehen will, noch eine besondere, da mir mit meiner ersten Professur in Königsberg vom Jahre 1849 bis 1856 die Aufgabe zufiel, in jedem Winter auch allgemeine Pathologie vorzutragen, d. h. denjenigen Theil der Krankheitslehre, der die allgemeinen theoretischen Begriffe von der Natur der Krankheit und die Principien ihrer Behandlung

Digitized by Google

enthalten sollte. Die allgemeine Pathologie war von den Aelteren gleichsam als die feinste Blüthe medicinischer Wissenschaftlichkeit angesehen worden. In der That aber hatte das, was früher ihren Inhalt gebildet, für den Jünger moderner Naturwissenschaft nur noch historisches Interesse.

Ueber die wissenschaftliche Berechtigung dieses Inhalts hatten schon manche meiner Vorgänger den Stab gebrochen, wie namentlich kurz zuvor Henle und Lotze. Letzterer, der ebenfalls von der Medicin ausgegangen ist, hatte in seiner allgemeinen Pathologie und Therapie 1842 mit vernichtendem kritischem Scharfsinne besonders gründlich und methodisch aufgeräumt.

Meine eigene ursprüngliche Neigung hatte mich zur Physik getrieben; äussere Umstände zwangen mich in das Studium der Medicin einzutreten, was mir durch die liberalen Einrichtungen dieses Instituts möglich wurde. Uebrigens war es die Sitte der alten Zeit gewesen, das Studium der Medicin mit dem der Naturwissenschaften zu vereinigen, und was darin von Zwang lag, muss ich schliesslich als ein Glück preisen. Nicht allein, dass ich in einer Periode in die Medicin eintrat, wo Jemand, der in physikalischen Betrachtungsweisen auch nur mässig bewandert war, einen fruchtbaren jungfräulichen Boden zur Beackerung vorfand, sondern ich betrachte auch das medicinische Studium als diejenige Schule, welche mir eindringlicher und überzeugender, als es irgend eine andere hätte thun können, die ewigen Grundsätze aller wissenschaftlichen Arbeit gepredigt hat, Grundsätze, so einfach und doch immer wieder vergessen, so klar und doch immer wieder mit täuschendem Schleier verhängt.

Man muss vielleicht dem brechenden Auge des Sterbenden und dem Jammer der verzweifelnden Familien gegenüber gestanden haben, man muss sich die schweren Fragen vorgelegt haben, ob man selbst Alles gethan habe, was man zur Abwehr des Verhängnisses hätte thun können, und ob die Wissenschaft auch wohl alle Kenntnisse und Hülfsmittel vorbereitet habe, die sie hätte vorbereiten sollen, um zu wissen, dass erkenntnisstheoretische Fragen über die Methodik der Wissenschaft auch eine bedrängende Schwere und eine fruchtbare praktische Tragweite erlangen können. Der bloss theoretische Forscher mag vornehm kühl darüber lächeln, wenn Eitelkeit und Phantasterei sich für eine Zeit in der Wissenschaft breit zu machen und Staub aufzuwirbeln suchen, vorausgesetzt, dass er selbst in seinem Arbeitszimmer ungestört bleibt. Oder er mag auch wohl Vorurtheile

Digitized by Google

der alten Zeit als Reste poetischer Romantik und jugendlicher Schwärmerei interessant und verzeihlich finden. Demjenigen, der mit den feindlichen Mächten der Wirklichkeit zu ringen hat, vergeht die Indifferenz und die Romantik; was er weiss und kann, wird schärferer Prüfung ausgesetzt, er kann nur das grelle harte Licht der Thatsachen brauchen, und muss es aufgeben, sich in angenehmen Illusionen zu wiegen.

Ich freue mich deshalb, einmal wieder vor einer fast ausschliesslich aus Medicinern bestehenden Versammlung reden zu können, die die gleiche Schule durchgemacht haben. Die Medicin ist doch nun einmal das geistige Heimathland geworden, in dem ich herangewachsen bin, und auch der Auswanderer versteht und findet sich verstanden am besten in der Heimath.

Um den Grundfehler jener älteren Zeit gleich mit einem Worte zu bezeichnen, möchte ich sagen, dass sie einem falschen Ideal von Wissenschaftlichkeit nachjagte in einseitiger und unrichtig begrenzter Hochschätzung der deductiven Methode. Zwar war unter den Wissenschaften nicht allein die Medicin in diesem Irrthum befangen, aber in keiner anderen Wissenschaft sind die Folgen davon so grell an das Licht getreten und haben sich dem Fortschritt mit solchem Gewicht entgegengestemmt, als gerade in der Medicin. Darum scheint mir in der That die Geschichte dieser Wissenschaft ein ganz besonderes Interesse in der Entwickelungsgeschichte des menschlichen Geistes in Anspruch zu nehmen. Keine andere ist vielleicht mehr geeignet zu zeigen, dass eine richtige Kritik der Erkenntnissquellen eine auch praktisch höchst wichtige Aufgabe der wahren Philosophie ist.

Als Fahne gleichsam der alten deductiven Medicin diente das stolze Wort des Hippokrates:

ἰητρὸς φιλόσοφος ἰσόθεος

„Gottähnlich ist der Arzt, der Philosoph ist."

Wir können es schon gelten lassen, wenn wir nur richtig feststellen, was unter einem Philosophen zu verstehen sei. Den Alten umfasste die Philosophie noch alle theoretische Kenntniss; ihre Philosophen betrieben auch Mathematik, Physik, Astronomie, Naturgeschichte in enger Vereinigung mit eigentlich philosophischen und metaphysischen Betrachtungen. Will man also unter dem ärztlichen Philosophen des Hippokrates einen Mann verstehen, der vollendete Einsicht in den Causalzusammenhang der Naturprocesse hat, so werden wir in der That mit ihm sagen können, ein solcher wird einem Gotte ähnlich helfen

Digitized by Google

können. So verstanden bezeichnet der Satz in drei Worten das Ideal, dem unsere Wissenschaft nachzustreben hat. Ob sie es je erreichen wird, wer will es sagen?

Aber auf so lange Frist ihre Hoffnungen hinauszuschieben, waren diejenigen Jünger der Medicin nicht geneigt, die sich schon bei eigenen Lebzeiten gottähnlich zu fühlen und Anderen als solche zu imponiren wünschten.

Man setzte die Ansprüche an den *φιλόσοφος* erheblich herab. Jeder Anhänger eines beliebigen welterklärenden Systems, in welches wohl oder übel die Thatsachen der Wirklichkeit hineinpassen mussten, fühlte sich als Philosoph. Von den Gesetzen der Natur wussten ja die Philosophen jener Zeit nicht gerade viel mehr als die ungelehrten Laien; der Nachdruck ihrer Bestrebungen fiel also zunächst auf das Denken, auf die logische Consequenz und Vollständigkeit des Systems. Es begreift sich wohl, wie es in jugendlichen Bildungsperioden zu einer so einseitigen Ueberschätzung des Denkens kommen konnte. Auf dem Denken beruht die Ueberlegenheit des Menschen über das Thier, des Gebildeten über den Barbaren; das Empfinden, Fühlen, Wahrnehmen theilt er dagegen mit seinen niederen Mitgeschöpfen und in Sinnesschärfe sind ihm manche von diesen sogar überlegen. Dass der Mensch seinem Denken die höchste Entwickelung zu geben strebt, ist die Aufgabe, von deren Lösung das Gefühl seiner eigenen Würde, wie seine praktische Macht abhängt, und ein natürlicher Irrthum war es, wenn man daneben als gleichgültig behandelte, was die Natur auch dem Thiere von seelischen Fähigkeiten als Mitgift gegeben hat, und wenn das Denken sich von seiner natürlichen Grundlage, dem Beobachten und Wahrnehmen, glaubte loslösen zu können, um den Ikarusflug der metaphysischen Speculation zu beginnen.

In der That ist es keine leichte Aufgabe, die Ursprünge unseres Wissens vollständig aufzudecken. Eine ungeheure Menge davon ist überliefert in Rede und Schrift. Diese Fähigkeit des Menschen, die Wissensschätze der Generationen zu sammeln, ist ein Hauptgrund seiner Ueberlegenheit über das auf ererbten blinden Instinct und nur individuelle Erfahrung beschränkte Thier. Aber alles überlieferte Wissen wird schon geformt übergeben; wo der Berichterstatter es her hat, wie viel Kritik er angewendet, ist oft nicht mehr zu ermitteln, namentlich wenn die Ueberlieferung durch viele Berichterstatter hindurch gegangen ist. Man muss es auf Treu und Glauben annehmen; zur Quelle kann man

Digitized by Google

nicht kommen, und wenn erst viele Generationen bei solchem Wissen sich beruhigt, keine Kritik daran geübt, ja auch wohl allerlei kleine Aenderungen, die sich schliesslich zu grossen summirten, daran angebracht haben, so werden oft sonderbare Sachen unter der Autorität uralter Weisheit berichtet und geglaubt. Eine seltsame Historie dieser Art ist die Geschichte des Blutkreislaufs, von der wir noch zu reden haben werden.

Aber für den, der über die Ursprünge des Wissens reflectirt, ist noch verwirrender eine andere Art der Ueberlieferung durch die Sprache, die lange unentdeckt geblieben ist. Die Sprache wird nicht leicht Namen für Classen von Objecten oder für Classen von Vorgängen ausbilden, wenn nicht sehr oft und bei vielen Gelegenheiten die betreffenden Einzeldinge und Einzelfälle zusammen zu nennen sind, um Gemeinsames über sie auszusagen. Sie müssen also viele gemeinsame Merkmale haben. Oder wenn wir, wissenschaftlich darüber reflectirend, einige dieser Merkmale auswählen und als Definition zusammenstellen, so muss der gemeinsame Besitz dieser ausgewählten Merkmale bedingen, dass in den betreffenden Fällen noch eine grosse Menge anderer Merkmale regelmässig aufzufinden sind, es muss eine naturgesetzliche Verbindung zwischen den erstgenannten und den letztgenannten Merkmalen da sein. Wenn wir zum Beispiel die Thiere, welche von ihren Müttern gesäugt worden sind, mit dem Namen der Säuger bezeichnen, so können wir von ihnen weiter aussagen, dass diese alle Warmblüter sind, lebendig geboren wurden, eine Wirbelsäule haben, kein Quadratbein, durch Lungen athmen, getrennte Herzabtheilungen haben u. s. w. u. s. w. Also schon der Umstand, dass in der Sprache eines intelligent beobachtenden Volkes eine gewisse Anzahl von Dingen mit einem und demselben Worte bezeichnet wird, zeigt an, dass diese Dinge oder Fälle einem gemeinsamen naturgesetzlichen Verhältniss unterliegen; schon dadurch allein wird eine Summe von Erfahrungen der vorausgegangenen Generationen überliefert, ohne dass es so erscheint.

Ferner findet sich der Erwachsene, wenn er über den Ursprung seines Wissens zu reflectiren beginnt, im Besitz einer ungeheuren Menge alltäglicher Erfahrungen, die zum grossen Theil bis in das Dunkel seiner ersten Kinderjahre hinaufreichen. Alles Einzelne ist längst vergessen; aber die gleichartigen Spuren, welche tägliche Wiederholung ähnlicher Fälle in seinem Gedächtnisse zurückgelassen hat, haben sich tief eingeschnitten.

Digitized by Google

Und da nur das sich regelmässig immer wiederholt, was gesetzlich ist, so sind diese tief eingegrabenen Reste aller vorausgegangenen Anschauungen gerade Anschauungen des Gesetzlichen in den Dingen und Vorgängen.

Die beiden genannten Vorgänge verschaffen dem Menschen den Besitz einer ausgedehnten Menge von Kenntnissen, von denen er nicht weiss, wo sie herkommen, die dagewesen sind, so lange er zurückdenken kann. Wir brauchen nicht einmal auf die Möglichkeit einer Vererbung durch die Zeugung zurückzugehen.

Die Begriffe, die er sich gebildet, die ihm seine Muttersprache überliefert, bewähren sich als ordnende Mächte auch in der objectiven Welt der Dinge, und da er nicht weiss, dass er oder seine Vorfahren diese Begriffe nach den Dingen ausgebildet haben, so scheint ihm die Welt der Dinge von geistigen Mächten, seinen Begriffen ähnlich, beherrscht zu werden. Diesen psychologischen Anthropomorphismus erkennen wir wieder von den Ideen des Plato, bis zur immanenten Dialektik des Weltprocesses bei Hegel und zu dem unbewussten Willen Schopenhauer's.

Die Naturwissenschaft — und sie fällt in der älteren Zeit mit der Medicin im Wesentlichen zusammen — folgte dem Wege der Philosophie; die deductive Methode schien Alles leisten zu können. Sokrates hatte freilich die inductive Begriffsbildung in der lehrreichsten Weise entwickelt. Aber das Beste, was er geleistet hatte, blieb, wie es gewöhnlich geht, so gut wie unverstanden.

Ich will Sie nicht durch das bunte Gewirr von pathologischen Theorien hindurchführen, die je nach wechselnden Neigungen ihrer Autoren, meist veranlasst durch diesen oder jenen Zuwachs naturwissenschaftlicher Kenntnisse, auftauchten und meist, wie es scheint, zuerst von Aerzten aufgestellt wurden, die als grosse Beobachter und Heilkünstler, unabhängig von ihren Theorien, sich Ruhm und Ansehen erwarben. Dann kamen die weniger begabten Schüler, welche den Meister copirten, seine Theorie übertrieben, einseitiger und logischer machten, unbekümmert um den Widerspruch der Natur. Je strenger das System, auf desto wenigere und desto eingreifendere Methoden pflegte sich das Heilverfahren zu reduciren. Je mehr die Schulen den anwachsenden wirklichen Kenntnissen gegenüber ins Gedränge geriethen, desto mehr steiften sie sich auf die alten Autoritäten, desto intoleranter wurden sie gegen Neuerungen. Der grosse Reformator der Anatomie, Vesa-

Digitized by Google

lius, wurde vor die theologische Facultät von Salamanca geladen, mit Servetus wurde in Genf auch sein Buch, in dem er den Lungenkreislauf beschrieb, verbrannt, und die Pariser Facultät verbot, in ihren Hörsälen den von Harvey entdeckten Blutkreislauf zu lehren.

Dabei waren die Grundlagen der Systeme, von welchen diese Schulen ausgingen, zum grossen Theil naturwissenschaftliche Anschauungen, deren Verwerthung innerhalb eines begrenzten Kreises durchaus in der Ordnung gewesen wäre. Was nicht in der Ordnung war, war nur der Wahn, dass es wissenschaftlicher sei, alle Krankheiten auf einen Erklärungsgrund zurückzuführen, als auf verschiedene. Die Solidarpathologen wollten Alles aus veränderter Mechanik der festen Theile, namentlich aus ihrer veränderten Spannung, aus dem Strictum und Laxum, dem Tonus und der Atonie, später aus den gespannten oder abgespannten Nerven, den Stockungen in den Gefässen herleiten. Die Humoralpathologen kannten nur Aenderungen der Mischung. Die vier Cardinalflüssigkeiten, Repräsentanten der classischen vier Elemente, Blut, Schleim, gelbe und schwarze Galle, bei anderen die Acrimoniae oder Dyscrasien, welche durch Schwitzen und Purgiren ausgetrieben werden mussten, im Anfang der neueren Zeit auch Säure und Alkali oder die alchymistischen Spiritus und Qualitates occultae der aufgenommenen Stoffe waren die Elemente dieser Chemie. Dazwischen spielten allerlei physiologische Anschauungen, von denen einzelne merkwürdige Vorahnungen enthielten, wie das *ἔμφυτον θερμόν*, die eingepflanzte Lebenswärme des Hippokrates, welches durch die Nahrungsmittel unterhalten wird, diese wiederum im Magen kocht, und die Quelle aller Lebensbewegung ist; hier ist schon die Frage angesponnen, die später von ärztlicher Seite zur Auffindung des Aequivalentverhältnisses zwischen mechanischer Arbeit und Wärme[1]), sowie zur wissenschaftlichen Formulirung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft[2]) führte. Dagegen hat das *πνεῦμα* halb Geist, halb Luft, welches man aus den Lungen in die Arterien dringen und diese füllen liess, viel arge Verwirrung angerichtet. Der Umstand, dass man in den Arterien todter Körper der Regel nach Luft findet, die freilich erst im Augenblicke, wo man die Gefässe anschneidet,

---

1) J. R. Mayer, die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845. — Die Mechanik der Wärme. Stuttgart 1867. Siehe den Anhang zu dieser Rede.

2) H. Helmholtz, die Erhaltung der Kraft. 1847. Berlin.

Digitized by Google

hineindringt, verleitete die Alten zu dem Glauben, diese Luft sei auch im Leben in den Arterien enthalten. Dann blieben für das Blut nur die Venen übrig, in denen es nicht circuliren konnte. Man meinte, es entstehe in der Leber, bewege sich von da zum Herzen und durch die Venen zu den Organen. Jede aufmerksame Beobachtung eines Aderlasses hätte lehren müssen, dass es in den Venen von der Peripherie kommt und zum Herzen hinfliesst. Aber diese falsche Theorie hatte sich mit der Erklärung der Fieber und Entzündungen so verwebt, dass sie das Gewicht eines Dogmas enthielt, welches anzugreifen gefährlich war.

Indess der wesentliche principielle Fehler dieser Systeme war und blieb doch die falsche Art von logischer Consequenz, zu der man sich verpflichtet glaubte, die Vorstellung, es müsse auf einen solchen Erklärungsgrund ein vollständiges, alle Formen der Erkrankung und deren Heilung umfassendes System gebaut werden. Die vollendete Kenntniss des Causalzusammenhanges einer Classe von Erscheinungen giebt allerdings schliesslich auch ein logisch consequentes System. Es giebt keinen stolzeren Bau des strengsten Denkens als die moderne Astronomie, deducirt bis in die einzelnsten kleinen Störungen hinein aus Newton's Gravitationsgesetz. Aber einem Newton war ein Kepler vorausgegangen, der die Thatsachen inductiv zusammengefasst hatte; und niemals haben die Astronomen geglaubt, dass Newton's Kraft das gleichzeitige Wirken anderer Kräfte ausschlösse. Fortdauernd sind sie auf der Wacht geblieben, um zu erspähen, ob nicht auch Reibung, widerstehende Mittel, Meteorschwärme Einfluss haben. Die älteren Philosophen und Aerzte glaubten, sie könnten deduciren, ehe sie ihre allgemeinen Sätze durch Induction gesichert hatten. Sie vergassen, dass jede Deduction nur so viel Sicherheit hat als der Satz, aus dem deducirt wird, und dass jede neue Deduction zunächst immer nur wieder ein neues Prüfungsmittel ihrer eigenen Grundlagen an der Erfahrung werden muss. Dadurch, dass ein Schluss in sauberster logischer Methode aus einem unsicheren Vordersatze hergeleitet wird, gewinnt er nicht um eines Haares Breite an Sicherheit oder an Werth.

Charakteristisch aber für die Schulen, die auf solchen als Dogmen angenommenen Hypothesen ihr System errichteten, ist die Intoleranz, deren Aeusserungen ich zum Theil schon eben erwähnt habe. Wer auf wohlgesicherter Basis arbeitet, kann einen Irrthum gern zugeben; ihm wird dabei nichts genommen,

als das, worin er sich geirrt hat. Wenn man aber den Ausgangspunkt auf eine Hypothese gestellt hat, die entweder durch Autorität gewährleistet erscheint oder nur gewählt ist, weil sie dem entspricht, was man für wahr halten zu können wünscht, so kann jeder Riss das ganze Gebäude der Ueberzeugungen rettungslos einreissen. Die überzeugten Anhänger müssen deshalb für jeden einzelnen Theil eines solchen Gebäudes denselben Grad von Infallibilität in Anspruch nehmen, für die Anatomie des Hippokrates ebenso viel wie für die Fieberkrisen; jeder Gegner kann ihnen nur als dumm oder schlecht erscheinen, und die Polemik wird nach einer alten Regel um so leidenschaftlicher und persönlicher, je unsicherer der Boden ist, der vertheidigt wird. Bei den Schulen der dogmatisch deductiven Medicin haben wir reichlich Gelegenheit, diese allgemeinen Regeln bestätigt zu finden. Ihre Intoleranz wandten sie theils gegen einander, theils gegen die Eklektiker, die bei verschiedenen Krankheitsformen verschiedene Erklärungsgründe herbeiholten. Letzteres in der Sache vollkommen begründete Verfahren trug in den Augen der Systematiker den Makel der Inconsequenz an sich. Und doch waren die grössten Aerzte und Beobachter, Hippokrates an der Spitze, Aretaeus, Galenus, Sydenham, Boerhave, Eklektiker oder wenigstens sehr laxe Systematiker gewesen.

Um die Zeit, als wir Aeltere in das Studium der Medicin eintraten, stand sie noch unter dem Einflusse der wichtigen Entdeckungen, welche Albrecht von Haller über die Erregung der Nerven gemacht hatte, diese in Verbindung gesetzt mit der vitalistischen Theorie von der Natur des Lebens. Haller hatte die Erregungsvorgänge an den Nerven und Muskeln abgeschnittener Glieder gesehen. Das Auffallendste daran war ihm gewesen, dass die verschiedenartigsten äusseren Einwirkungen, mechanische, chemische, thermische, zu denen später noch die elektrischen kamen, immer denselben Erfolg, nämlich Muskelzuckung, hervorriefen. Nach ihrer Einwirkung auf den Organismus waren sie also nur quantitativ unterschieden, nur durch die Stärke der Wirkung; er bezeichnete sie deshalb mit dem gemeinsamen Namen der Reize, nannte den veränderten Zustand der Nerven die Reizung, und deren Fähigkeit, auf Reize zu antworten, welche mit dem Absterben verloren ging, die Reizbarkeit. Dieses ganze Verhältniss, welches, physikalisch genommen, eigentlich weiter nichts aussagt, als dass die Nerven betreffs derjenigen inneren Bewegungen, die nach der Erregung auftreten, in einem

Digitized by Google

äusserst leicht störbaren Gleichgewichtszustande sind, wurde als die Grundeigenschaft des thierischen Lebens angesehen und ohne Bedenken auch auf die übrigen Organe und Gewebe des Körpers übertragen, für welche gar keine ähnlichen Thatsachen vorlagen. Man glaubte, dass sie alle nicht von selbst thätig wären, sondern erst durch Reize den Anstoss erhalten müssten; als die normalen Reize galten Luft und Nahrungsmittel. Die Art der Thätigkeit erschien dagegen durch die besondere Energie des Organs unter der Leitung der Lebenskraft bedingt. Steigerung oder Herabsetzung der Reizbarkeit waren die Kategorien, unter welche die sämmtlichen acuten Krankheiten subsumirt und aus denen die Indicationen für schwächende oder erregende Behandlung hergenommen wurden. Die starre Einseitigkeit und rücksichtslose Consequenz, mit welcher R. Brown dies System einst durchgeführt hatte, war allerdings gebrochen; doch wurden immer noch die leitenden Gesichtspunkte daher genommen.

Die Lebenskraft hatte einst als luftartiger Geist, als Pneuma, in den Arterien gehaust, hatte dann beim Paracelsus die Gestalt des Archeus, einer Art hilfreichen Kobolds oder „inwendigen Alchymisten“ angezogen, und ihre klarste wissenschaftliche Fassung als Lebensseele, Anima inscia, bei Georg Ernst Stahl erlangt, der in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts Professor der Chemie und Pathologie in Halle war. Stahl war ein klarer und feiner Kopf, der selbst da, wo er gegen unsere jetzigen Ansichten entscheidet, durch die Art, wie er die richtigen Fragen stellt, belehrend und fördernd ist. Er ist derselbe, der das erste umfassendere System der Chemie, das phlogistische, gründete. Wenn man sein Phlogiston in latente Wärme übersetzt, so gingen die theoretischen Grundzüge seines Systems wesentlich auch in Lavoisier's über; nur kannte Stahl den Sauerstoff noch nicht, wodurch einige falsche Hypothesen, z. B. über die negative Schwere des Phlogiston, bedingt waren. Stahl's Lebensseele ist im Ganzen nach dem Vorbilde dargestellt, wie sich die pietistischen Gemeinden jener Zeit die sündige menschliche Seele dachten; sie ist Irrthümern und Leidenschaften, der Trägheit, Furcht, Ungeduld, Trauer, Unbedachtsamkeit, Verzweiflung unterworfen. Der Arzt muss sie bald besänftigen, bald aufstacheln oder strafen und zur Busse zwingen. Sehr gut ausgesonnen war es, wie er daneben die Nothwendigkeit der physikalischen und chemischen Wirkungen begründete. Die Lebensseele regiert den Körper und wirkt nur mittels der physikalisch-

Digitized by Google

chemischen Kräfte der aufgenommenen Stoffe. Aber sie hat die Macht, diese Kräfte zu binden und zu lösen, sie gewähren zu lassen oder zu hemmen. Nach dem Tode werden die gehemmten Kräfte frei und rufen Fäulniss und Verwesung hervor. Diese Hypothese vom Binden und Lösen zu widerlegen, musste das Gesetz von der Erhaltung der Kraft klar ausgesprochen werden.

Die zweite Hälfte des vorigen Jahrhunderts war schon zu sehr von Aufklärungsprincipien angesteckt, um Stahl's Lebensseele offen anzuerkennen. Man übertünchte sie mehr naturwissenschaftlich als Lebenskraft, Vis vitalis, während sie im Wesentlichen ihre Functionen beibehielt und unter dem Namen der Naturheilkraft in Krankheiten eine hervorragende Rolle spielte.

Die Lehre von der Lebenskraft trat ein in das pathologische System der Erregbarkeitsänderungen. Man suchte zu trennen die unmittelbaren Einwirkungen der krankmachenden Schädlichkeit, soweit sie von dem Spiel blinder Naturkräfte abhingen, die Symptomata morbi, von denen, welche die Reaction der Lebenskraft einleitete, den Symptomata reactionis. Die letzteren sah man hauptsächlich in der Entzündung und im Fieber. Dem Arzte fiel fast allein noch die Rolle zu, die Stärke dieser Reaction zu überwachen und sie, je nach Umständen, anzustacheln oder zu dämpfen.

Die Behandlung des Fiebers erschien jeder Zeit als die Hauptsache, als der eigentlich wissenschaftlich begründete Theil der Medicin, woneben die Localbehandlung als verhältnissmässig untergeordnet zurücktrat. Die Therapie der fieberhaften Krankheiten war dadurch schon sehr einförmig geworden, wenn auch die durch die Theorie indicirten Mittel, wie namentlich das seit jener Zeit fast ganz aufgegebene Blutlassen, noch kräftig gebraucht wurden. Noch mehr verarmte die Therapie, als die jüngere und kritischer gestimmte Generation herantrat und die Voraussetzungen dessen, was man als wissenschaftlich betrachtete, prüfte. Es waren damals unter den jüngeren Aerzten viele, die in Verzweiflung an ihrer Wissenschaft fast jede Therapie aufgaben oder principmässig nach einer Empirie griffen, wie sie Rademacher damals lehrte, welche grundsätzlich jede Hoffnung auf wissenschaftliches Verständniss als eitel ansah.

Was wir damals kennen gelernt haben, waren nur noch Ruinen des alten Dogmatismus, aber die bedenklichen Seiten desselben traten noch deutlich genug hervor.

Digitized by Google

Dem vitalistischen Arzte hing der wesentliche Theil der Lebensvorgänge nicht von Naturkräften ab, die, mit blinder Nothwendigkeit und nach festem Gesetz ihre Wirkung ausübend, den Erfolg bestimmten. Was solche verrichten konnten, erschien als Nebensache und ein eingehendes Studium davon kaum der Mühe werth. Er glaubte mit einem seelenähnlichen Wesen zu thun zu haben, dem ein Denker, ein Philosoph und geistreicher Mann gegenüberstehen musste. Darf ich es Ihnen durch einzelne Züge erläutern?

Es war eine Zeit, wo Auscultation und Percussion der Brustorgane in den Kliniken schon regelmässig betrieben wurde; aber ich habe noch manchmal behaupten hören, es seien dies grob mechanische Untersuchungsmittel, deren ein Arzt von hellem Geistesauge nicht bedürfe; auch setze man dadurch den Patienten, der doch auch ein Mensch sei, herab und entwürdige ihn, als sei er eine Maschine. Das Pulsfühlen erschien als das directeste Verfahren, um die Reactionsweise der Lebenskraft kennen zu lernen, und wurde deshalb als bei Weitem das wichtigste Beobachtungsmittel fein eingeübt. Dabei mit der Secundenuhr zu zählen war schon gewöhnlich, galt aber bei den alten Herren als ein Verfahren von nicht ganz gutem Geschmack. An Temperaturmessungen bei Kranken wurde noch nicht gedacht. In Bezug auf den Augenspiegel sagte mir ein hochberühmter chirurgischer College, er werde das Instrument nie anwenden, es sei zu gefährlich, das grelle Licht in kranke Augen fallen zu lassen; ein Anderer erklärte, der Spiegel möge für Aerzte mit schlechten Augen nützlich sein, er selbst habe sehr gute Augen und bedürfe seiner nicht.

Ein durch bedeutende literarische Thätigkeit berühmter, als Redner und geistreicher Mann gefeierter Professor der Physiologie jener Zeit hatte einen Streit über die Bilder im Auge mit dem Collegen von der Physik. Der Physiker forderte den Physiologen auf, zu ihm zu kommen und den Versuch zu sehen. Der letztere wies dies Ansinnen entrüstet zurück: „ein Physiologe habe mit Versuchen nichts zu thun, die seien gut für den Physiker." Ein anderer bejahrter und hochgelehrter Professor der Arzneimittellehre, der sich viel mit Reorganisation der Universitäten beschäftigte, um die alte gute Zeit zurückzuführen, drang inständigst in mich, die Physiologie zu theilen, den eigentlich gedanklichen Theil selbst vorzutragen und die niedere experimentelle Seite einem Collegen zu überlassen, den er dafür als

Digitized by Google

gut genug ansah. Er gab mich auf, als ich ihm erklärte, ich betrachtete selbst die Experimente als die eigentliche Basis der Wissenschaft.

Ich erzähle Ihnen diese selbst erlebten Züge, um Ihnen anschaulich zu machen, wie die Stimmung der älteren Schulen und zwar die von gefeierten Repräsentanten der ärztlichen Wissenschaft gegenüber dem andringenden Ideenkreise der Naturwissenschaften war; in der Literatur haben diese Ansichten natürlich schwächeren Ausdruck gefunden, weil die alten Herren doch zu vorsichtig und weltgewandt waren.

Sie begreifen, wie sehr eine solche Stimmung von einflussreichen und geachteten Männern dem Fortschritt hinderlich gewesen sein muss. Die medicinische Bildung jener Zeit beruhte noch wesentlich auf Bücherstudium; es gab noch Vorlesungen, die sich auf das Dictiren eines Heftes beschränkten; für Versuche und Demonstrationen in den Vorlesungen war zum Theil schon gut, zum Theil nur dürftig gesorgt; physiologische und physikalische Laboratorien, wo der Schüler selbst hätte angreifen können, gab es überhaupt noch nicht; für die Chemie war Liebig's grosse That, die Gründung des Giessener Laboratoriums, schon vollzogen, aber anderswo noch nicht nachgeahmt worden. Indessen besass die Medicin in den anatomischen Uebungen ein grosses Erziehungsmittel für selbständige Beobachtung, welches den anderen Facultäten fehlte und dessen Einfluss ich sehr hoch zu schätzen geneigt bin. Mikroskopische Demonstrationen kamen nur sehr vereinzelt und selten in den Vorlesungen vor. Die Instrumente waren noch theuer und selten; ich selbst gelangte dadurch in den Besitz eines solchen, dass ich die Herbstferien 1841 in der Charité am Typhus darniederliegend zubrachte, als Eleve unentgeltlich verpflegt, und mich als Reconvalescent im Besitz meiner aufgesparten kleinen Einkünfte sah. Das Instrument war nicht schön; doch war ich damit im Stande, die in meiner Dissertation beschriebenen Nervenfortsätze der Ganglienzellen bei den wirbellosen Thieren zu erkennen und die Vibrionen in meiner Arbeit über Fäulniss und Gährung zu verfolgen.

Ueberhaupt wer von meinen Studiengenossen Versuche anstellen wollte, musste dafür mit seinem Taschengelde einstehen. Eines haben wir dabei gelernt, was die jüngere Generation in den Laboratorien vielleicht nicht mehr so gut lernt, nämlich die Mittel und Wege, um zum Ziele zu gelangen, nach allen Richtungen hin zu überlegen und alle Möglichkeiten in der Ueber-

Digitized by Google

legung zu erschöpfen, bis ein gangbarer Weg gefunden war. Aber freilich hatten wir auch vor uns ein kaum angebrochenes Feld, in welchem fast jeder Spatenstich lohnende Ergebnisse herauffördern konnte.

Es war ein Mann vorzugsweise, der uns den Enthusiasmus zur Arbeit in der wahren Richtung gab, nämlich Johannes Müller, der Physiolog. In seinen theoretischen Anschauungen bevorzugte er noch die vitalistische Hypothese, aber in dem wesentlichsten Punkte war er Naturforscher, fest und unerschütterlich: alle Theorien waren ihm nur Hypothesen, die an den Thatsachen geprüft werden mussten, und über die einzig und allein die Thatsachen zu entscheiden hatten. Auch die Ansichten über diejenigen Punkte, welche sich am leichtesten in Dogmen versteinern, über die Wirkungsweise der Lebenskraft und die Thätigkeiten der bewussten Seele, suchte er unablässig mittels der Thatsachen fester zu begrenzen, zu beweisen oder zu widerlegen.

Wenn auch die Technik anatomischer Untersuchungen ihm am geläufigsten war und er auf diese deshalb am liebsten zurückging, so arbeitete er sich auch doch in die ihm fremderen chemischen und physikalischen Methoden ein. Er lieferte den Nachweis, dass der Faserstoff in der Blutflüssigkeit gelöst sei, er experimentirte über Schallfortpflanzung in solchen Mechanismen, wie sie sich in der Trommelhöhle finden, behandelte als Optiker die Thätigkeit des Auges. Seine für die Physiologie des Nervensystems, wie für die Erkenntnisstheorie bedeutsamste Leistung war die feste thatsächliche Begründung der Lehre von den specifischen Energien der Nerven. In Bezug auf die Scheidung der Nerven von motorischer und sensibler Energie lehrte er, wie der experimentelle Beweis des Bell'schen Gesetzes über die Rückenmarkwurzeln fehlerfrei zu führen sei, und betreffs der specifischen Energien der Sinnesnerven stellte er nicht bloss das allgemeine Gesetz auf, sondern führte auch eine grosse Anzahl von Einzeluntersuchungen durch, um Ausnahmen zu beseitigen, falsche Deutungen und Ausflüchte zu widerlegen. Was man bis dahin aus den Daten der täglichen Erfahrung geahnt und in unbestimmter, das Wahre mit Falschem vermischender Weise auszusprechen gesucht, oder nur erst für einzelne engere Gebiete, wie Th. Young für die Farbentheorie, Ch. Bell für die motorischen Nerven fest formulirt hatte, das ging aus Müller's Händen in der Form classischer Vollendung hervor, eine wissen-

Digitized by Google

schaftliche Errungenschaft, deren Werth ich der Entdeckung des Gravitationsgesetzes gleichzustellen geneigt bin.

Sein Geist und sein Beispiel vorzugsweise arbeitete fort in seinen Schülern. Uns waren schon vorausgegangen: Schwann, Henle, Reichert, Peters, Remak, ich traf hier als Studiengenossen E. du Bois-Reymond, Virchow, Brücke, Ludwig, Traube, J. Meyer, Lieberkühn, Hallmann; es folgten nach A. v. Graefe, W. Busch, Max Schultze, A. Schneider.

Die mikroskopische und pathologische Anatomie, das Studium der organischen Typen, die Physiologie, die experimentirende Pathologie und Arzneimittellehre, die Augenheilkunde entwickelten sich unter dem Einfluss dieses mächtigen Anstosses in Deutschland schnell hinaus über das Maass der mitstrebenden Nachbarländer. Zu Hilfe kam das Wirken ähnlich gesinnter Zeitgenossen Müller's, unter denen vor Allen die drei Leipziger Brüder Weber zu nennen sind, die in der Mechanik des Kreislaufs, der Muskeln, der Gelenke, des Ohrs festen Grund gemacht haben.

Man griff an, wo man irgendwie einen Weg sah, um einen der Lebensvorgänge verständlich zu machen; man setzte voraus, sie seien verständlich, und der Erfolg entsprach dieser Voraussetzung. Jetzt ist eine feine und reiche Technik für die Methoden des Mikroskopirens, der physiologischen Chemie, der Vivisectionen ausgebildet, letztere namentlich mit Hilfe des betäubenden Aethers und des lähmenden Curare ausserordentlich erleichtert, wodurch eine Fülle von viel tiefer gehenden Problemen angreifbar werden, die unserer Generation noch ganz hoffnungslos erschienen. Das Thermometer, der Augen-, Ohren- und Kehlkopfspiegel, die Nervenreizung am Lebenden geben dem Arzte Möglichkeiten feiner und sicherer Diagnostik, wo uns noch absolutes Dunkel erschien; die immer steigende Anzahl nachgewiesener parasitischer Organismen setzt greifbare Objecte an die Stelle mystischer Krankheits-Entitäten und lehrt den Chirurgen, den furchtbar tückischen Zersetzungskrankheiten zuvorzukommen.

Aber glauben Sie nicht, meine Herren, dass der Kampf zu Ende ist. So lange es Leute von hinreichend gesteigertem Eigendünkel geben wird, die sich einbilden durch Blitze der Genialität leisten zu können, was das Menschengeschlecht sonst nur durch mühsame Arbeit zu erreichen hoffen darf, wird es auch Hypothesen geben, welche, als Dogmen vorgetragen, alle Räthsel auf

Digitized by Google

einmal zu lösen versprechen. Und so lange es noch Leute giebt, die kritiklos leicht an das glauben, von dem sie wünschen, dass es wahr sein möchte, so lange werden die Hypothesen der ersteren auch noch Glauben finden. Beide Classen von Menschen werden wohl nicht aussterben, und der letzteren wird immer die Majorität angehören.

Zwei Motive sind es namentlich, welche die metaphysischen Systeme immer getragen haben. Einmal möchte sich der Mensch als ein über das Maass der übrigen Natur hinausragendes Wesen höherer Art fühlen; diesem Wunsche entsprechen die Spiritualisten. Andererseits möchte er unbedingter Herr über die Welt durch sein Denken sein, und zwar natürlich durch sein Denken mit denjenigen Begriffsformen, zu deren Ausbildung er bis jetzt gelangt ist; dem suchen die Materialisten zu genügen.

Wer aber, wie der Arzt, den Heil oder Verderben bringenden Kräften handelnd gegenübertreten soll, dem liegt unter schwerer Verantwortlichkeit die Verpflichtung ob, die Kenntniss der Wahrheit und nur der Wahrheit zu suchen, ohne Rücksicht, ob, was er findet, den Wünschen der einen oder der anderen Art schmeichelt. Sein Ziel ist ein ganz fest gegebenes, für ihn ist schliesslich nur der thatsächliche Erfolg entscheidend. Er muss streben, voraus zu wissen, was der Erfolg seines Eingreifens sein wird, wenn er so oder so verfährt. Um dieses Vorauswissen des Kommenden oder des noch nicht durch Beobachtung Festgestellten zu erwerben, haben wir keine andere Methode als die, dass wir die Gesetze der Thatsachen durch Beobachtung kennen zu lernen suchen; und wir können sie kennen lernen durch Induction, durch sorgfältige Aufsuchung, Herbeiführung, Beobachtung solcher Fälle, die unter das Gesetz gehören. Glauben wir ein Gesetz gefunden zu haben, dann tritt auch das Geschäft des Deducirens ein. Dann haben wir die Consequenzen unseres Gesetzes möglichst vollständig abzuleiten, aber freilich zunächst nur, um sie an der Erfahrung zu prüfen, so weit sie sich irgend prüfen lassen, und um durch diese Prüfung zu entscheiden, ob das Gesetz sich als gültig bewähre und in welchem Umfange. Dies ist eine Arbeit, die eigentlich nie aufhört. Der echte Naturforscher überlegt bei jeder neuen fremdartigen Erscheinung, ob nicht die bestbewährten Wirkungsgesetze längst bekannter Kräfte eine Abänderung erhalten müssen; natürlich kann es sich dabei nur um eine Abänderung handeln, die dem ganzen Schatze der bisher aufgesammelten Erfahrungen nicht widerspricht. So

Digitized by Google

kommt er freilich nie zur unbedingten Wahrheit, aber doch zu so hohen Graden der Wahrscheinlichkeit, dass sie praktisch der Gewissheit gleich stehen. Lassen wir die Metaphysiker darüber spotten, wir wollen uns ihren Spott zu Herzen nehmen, wenn sie einmal Besseres oder auch nur ebenso viel zu leisten im Stande sein werden, als die inductive Methode schon geleistet hat. Noch aber sind die alten Worte des Sokrates, des Altmeisters inductiver Begriffsbildung, über sie genau ebenso jung, wie vor 2000 Jahren: „Jene glaubten zu wissen, was sie nicht wüssten, und er selbst habe wenigstens den Vorzug, dass er nicht vermeinte zu wissen, was er nicht wisse.“ Und wiederum: „Er wundere sich nur, dass Jene nicht merkten, wie unmöglich es den Menschen sei, dergleichen zu finden; da ja selbst die, welche auf ihre darüber vorgetragenen Theorien im allerhöchsten Grade eingebildet seien, unter sich nicht übereinstimmten, sondern sich wie die Rasenden (*τοῖς μαινομένοις ὁμοίως*) gegen einander betrügen“ [1]. „*Τοὺς μέγιστον φρονοῦντας*“ nennt sie Sokrates. Einen „Montblanc neben einem Maulwurfshaufen“ nennt sich Schopenhauer [2], wenn er sich mit einem Naturforscher vergleicht. Die Schüler bewundern das grosse Wort und suchen dem Meister nachzuahmen.

Wenn ich gegen das leere Hypothesenmachen spreche, glauben Sie übrigens nicht, dass ich den Werth der echt originalen Gedanken herabsetzen wolle. Die erste Auffindung eines neuen Gesetzes ist die Auffindung bisher verborgen gebliebener Aehnlichkeit im Ablauf der Naturvorgänge. Sie ist eine Aeusserung des Seelenvermögens, welches unsere Vorfahren noch im ernsten Sinne „Witz“ nannten; sie ist gleicher Art mit den höchsten Leistungen künstlerischer Anschauung in der Auffindung neuer Typen ausdrucksvoller Erscheinung. Sie ist etwas, was man nicht erzwingen und durch keine bekannte Methode erwerben kann. Darum haschen Alle danach, die sich als bevorzugte Kinder des Genius geltend machen möchten. Auch scheint es so leicht, so mühelos, durch plötzliche Geistesblitze einen unerschwingbaren Vorzug vor den Mitlebenden sich anzueignen. Der rechte Künstler zwar und der rechte Forscher wissen, dass grosse Leistungen nur durch grosse Arbeit entstehen. Der Beweis da-

[1]) Xenophon Memorabil. I, 1. 11.

[2]) Arthur Schopenhauer, von ihm, über ihn, von Frauenstädt und Lindner. Berlin 1863. S. 653.

Digitized by Google

für, dass die gefundenen Ideen nicht nur oberflächliche Aehnlichkeiten zusammenraffen, sondern durch einen tiefen Blick in den Zusammenhang des Ganzen erzeugt sind, lässt sich doch nur durch eine vollständige Durchführung derselben geben, für das neu entdeckte Naturgesetz also nur an seiner Uebereinstimmung mit den Thatsachen. Es ist das nicht etwa als eine Werthschätzung nach dem äusserlichen Erfolge anzusehen, sondern der Erfolg hängt hier wesentlich zusammen mit der Tiefe und Vollständigkeit der vorausgegangenen Anschauung.

Oberflächliche Aehnlichkeit finden ist leicht, ist unterhaltend in der Gesellschaft, und witzige Einfälle verschaffen ihrem Autor bald den Namen eines geistreichen Mannes. Unter einer grossen Zahl solcher Einfälle werden ja auch wohl einige sein müssen, die sich schliesslich als halb oder ganz richtig erweisen; es wäre ja geradezu ein Kunststück, immer falsch zu rathen. In solchem Glücksfalle kann man seine Priorität auf die Entdeckung laut geltend machen; wenn nicht, so bedeckt glückliche Vergessenheit die gemachten Fehlschüsse. Andere Anhänger desselben Verfahrens helfen gern dazu, den Werth eines „ersten Gedankens“ zu sichern. Die gewissenhaften Arbeiter, welche ihre Gedanken zu Markte zu bringen sich scheuen, ehe sie sie nicht nach allen Seiten geprüft, alle Bedenken erledigt und den Beweis vollkommen gefestigt haben, kommen dabei in unverkennbaren Nachtheil. Die jetzige Art, Prioritätsfragen nur nach dem Datum der ersten Veröffentlichung zu entscheiden, ohne dabei die Reife der Arbeit zu beachten, hat dieses Unwesen sehr begünstigt.

In den Letterkästen eines Buchdruckers liegt alle Weisheit der Welt zusammen, die schon gefunden ist und noch gefunden werden kann; man müsste nur wissen, wie man die Lettern zusammenzuordnen hat. So sind auch in den Hunderten von Schriften und Schriftchen, die alljährlich erscheinen über Aether, Beschaffenheit der Atome, Theorie der Wahrnehmung, ebenso wie über das Wesen der asthenischen Fieber und der Carcinome, gewiss schon längst alle zartesten Nüancirungen der möglichen Hypothesen erschöpft und unter diesen müssen nothwendig viele Bruchstücke der richtigen Theorie sein. Wer sie nur zu finden wüsste!

Ich hebe dies hervor, um Ihnen klar zu machen, dass diese Literatur der ungeprüften und unbestätigten Speculationen gar keinen Werth für den Fortschritt der Wissenschaft hat; im Gegentheil, die wenigen gesunden Gedanken, die darin stecken

Digitized by Google

mögen, werden von dem Unkraut der übrigen zugedeckt, und wer nachher wirklich Neues und wohlgeprüfte Thatsachen bringen will, sieht sich der Gefahr unzähliger Reclamationen ausgesetzt, wenn er nicht vorher mit dem Durchlesen einer Menge absolut unfruchtbarer Bücher Zeit und Kräfte vergeuden und den Leser durch die Menge unnützer Citate ungeduldig machen will.

Unsere Generation hat noch unter dem Drucke spiritualistischer Metaphysik gelitten, die jüngere wird sich wohl vor dem der materialistischen zu wahren haben. Kant's Zurückweisung der Ansprüche des reinen Denkens hat allmälig Eindruck gemacht, aber Kant liess noch einen Ausweg offen. Dass alle bis dahin aufgestellten metaphysischen Systeme nur Gewebe von Trugschlüssen seien, war ihm so klar wie dem Sokrates. Seine Kritik der reinen Vernunft ist eine fortlaufende Predigt gegen den Gebrauch der Kategorien des Denkens über die Grenzen möglicher Erfahrung hinaus. Aber die Geometrie schien ihm so etwas zu leisten, wie die Metaphysik es anstrebte, und er erklärte deshalb die Axiome der Geometrie, die er als a priori vor aller Erfahrung gegebene Sätze ansah, für gegeben durch transcendentale Anschauung, oder als die angeborene Form aller äusseren Anschauung. Seitdem ist die reine Anschauung a priori der Ankerplatz der Metaphysiker geworden. Sie ist noch bequemer als das reine Denken, weil man ihr Alles aufbürden kann, ohne sich in Schlussketten hineinzubegeben, die einer Prüfung und Widerlegung fähig wären. Die nativistische Theorie der Sinneswahrnehmungen ist der Ausdruck dieser Theorie in der Physiologie. Alle Metaphysiker vereinigt kämpfen gegen jeden Versuch, die Anschauungen, seien es sogenannte reine oder empirische, die Axiome der Geometrie, die Grundsätze der Mechanik oder die Gesichtswahrnehmungen in ihre rationellen Elemente aufzulösen. Eben wegen dieses Sachverhalts halte ich die neueren mathematischen Untersuchungen von Lobatschewsky, Gauss, Riemann u. A. über die logisch möglichen Abänderungen der Axiome der Geometrie und den Nachweis, dass die Axiome Sätze sind, die durch die Erfahrung bestätigt oder vielleicht auch widerlegt, und deshalb aus der Erfahrung gewonnen werden können, für einen sehr wichtigen Fortschritt. Dass alle Secten der Metaphysiker sich darüber ereifern, darf Sie nicht irre machen; denn diese Untersuchungen legen die Axt an die scheinbar festeste Stütze, die ihren Ansprüchen noch blieb.

Ich bitte Sie nicht zu vergessen, dass auch der Materialismus

Digitized by Google

eine metaphysische Hypothese ist, eine Hypothese, die sich im Gebiete der Naturwissenschaften allerdings als sehr fruchtbar erwiesen hat, aber doch immer eine Hypothese. Und wenn man diese seine Natur vergisst, so wird er ein Dogma, was dem Fortschritte der Wissenschaft ebenso hinderlich werden und zu leidenschaftlicher Intoleranz treiben kann, wie andere Dogmen. Diese Gefahr tritt ein, sobald man Thatsachen zu leugnen oder zu verdecken sucht zu Gunsten entweder der erkenntnisstheoretischen Principien des Systems, oder zu Gunsten von Specialtheorien, die naturwissenschaftlich wenigstens klingende Erklärungen von einzelnen Gebieten zu geben suchen. So hat man z. B. gegen solche Forscher, welche aus den Sinneswahrnehmungen herauszulösen suchen, was darin von Wirkungen des Gedächtnisses und der im Gedächtnisse zu Stande kommenden Verstärkung wiederholter gleichartiger Eindrücke, kurz der Erfahrung angehört, ein Parteigeschrei zu erheben gesucht, sie seien Spiritualisten. Als ob Gedächtniss, Erfahrung und Uebung nicht auch Thatsachen wären, deren Gesetze gesucht werden können, und die sich nicht wegdecretiren lassen, wenn sie auch nicht schon jetzt glatt und einfach auf die bekannten Gesetze der Erregung von Nervenfasern und deren Leitung zurückzuführen sind, so günstigen Spielraum auch der Phantasie das Gewirr der Ganglienzellenfortsätze und Nervenfaserverbindungen im Gehirn darbieten mag.

Ueberhaupt, so selbstverständlich der Grundsatz erscheint und so wichtig er ist, so oft wird er vergessen, der Grundsatz nämlich, dass die Naturforschung die Gesetze der Thatsachen zu suchen hat. Indem wir das gefundene Gesetz als eine die Vorgänge in der Natur beherrschende Macht anerkennen, objectiviren wir es als Kraft, und nennen eine solche Zurückführung der einzelnen Fälle auf eine unter bestimmten Bedingungen einen bestimmten Erfolg hervorrufende Kraft eine ursächliche Erklärung der Erscheinungen. Wir können dabei nicht immer zurückgehen auf die Kräfte der Atome; wir sprechen auch von einer Lichtbrechungskraft, elektromotorischen und elektrodynamischen Kraft. Aber vergessen Sie nicht die bestimmten Bedingungen und den bestimmten Erfolg. Wenn diese nicht anzugeben sind, so ist die angebliche Erklärung nur ein verschämtes Geständniss des Nichtwissens, und dann ist es entschieden besser, dafür ein offenes Geständniss zu geben.

Wenn z. B. irgend ein vegetativer Process auf Kräfte der Zellen zurückgeführt wird ohne nähere Bestimmung der Bedin-

Digitized by Google

gungen, unter welchen, und der Richtung, nach welcher diese wirken, so kann dies höchstens noch den Sinn haben auszudrücken, dass entferntere Theile des Organismus dabei ohne Einfluss sind; aber auch dies möchte in den wenigsten Fällen sicher constatirt sein. Ebenso ist der ursprünglich wohl bestimmte Sinn, den Johannes Müller dem Begriff der Reflexbewegung gab, allmälig dahin verflüchtigt, dass, wenn an irgend einer Stelle des Nervensystems ein Eindruck stattgefunden hat, und an irgend einer andern eine Wirkung eintritt, man dies erklärt zu haben glaubt, wenn man sagt, es sei ein Reflex. Den unentwirrbaren Verflechtungen der Hirnnervenfasern kann man Vieles aufbürden. Aber die Aehnlichkeit mit den Qualitates occultae der alten Medicin ist sehr bedenklich.

Aus dem ganzen Zusammenhange meiner Darstellung geht wohl eigentlich schon hervor, dass das, was ich gegen die Metaphysik gesagt habe, nicht gegen die Philosophie gerichtet sein soll. Aber die Metaphysiker haben sich von jeher das Ansehen zu geben gesucht, als wenn sie die Philosophen wären, und die philosophischen Dilettanten haben sich meistens nur für die weitfliegenden Speculationen der Metaphysiker interessirt, durch welche sie in kurzer Zeit und ohne zu grosse Mühe die Summe alles Wissenswerthen glaubten kennen lernen zu können. Ich habe schon bei einer andern Gelegenheit [1]) das Verhältniss der Metaphysik zur Philosophie mit dem der Astrologie zur Astronomie verglichen. Jene hatte das aufregendste Interesse für das grosse Publicum, namentlich die vornehme Welt, und machte ihre angeblichen Kenner zu einflussreichen Personen. Die Astronomie dagegen, trotzdem sie das Ideal wissenschaftlicher Durcharbeitung geworden ist, muss sich jetzt mit einer kleinen Zahl still fortarbeitender Jünger begnügen.

Ebenso bleibt der Philosophie, wenn sie die Metaphysik aufgiebt, noch ein grosses und wichtiges Feld, die Kenntniss der geistigen und seelischen Vorgänge und deren Gesetze. Wie der Anatom, wenn er an die Grenzen des mikroskopischen Sehvermögens kommt, sich Einsicht in die Wirkung seines optischen Instruments zu verschaffen suchen muss, so wird jeder wissenschaftliche Forscher auch das Hauptinstrument, mit dem er arbeitet, das menschliche Denken nach seiner Leistungsfähigkeit

---

[1]) Tyndall, wissenschaftliche Fragmente, übersetzt von A. Helmholtz. Vorrede S. XXII. Siehe S. 350 dieses Bandes.

Digitized by Google

genau studiren müssen. Zeugniss für die Schädlichkeit irrthümlicher Ansichten in dieser Beziehung ist unter Anderm das zweitausendjährige Herumtappen der medicinischen Schulen. Und auf die Kenntniss der Gesetze der psychischen Vorgänge müsste der Arzt, der Staatsmann, der Jurist, der Geistliche und Lehrer bauen können, wenn sie eine wahrhaft wissenschaftliche Begründung ihrer praktischen Thätigkeit gewinnen wollten. Aber die ächte Wissenschaft der Philosophie hat unter den üblen geistigen Gewohnheiten und falschen Idealen der Metaphysik vielleicht noch mehr zu leiden gehabt als die Medicin.

Nun noch eine Verwahrung; ich möchte nicht, dass Sie glaubten, meine Darstellung sei durch persönliche Erregung beeinflusst gewesen. Dass Jemand, der solche Meinungen hat, wie ich Ihnen vorgetragen habe, der seinen Schülern, wo er kann, den Grundsatz einschärft: „Ein metaphysischer Schluss ist entweder ein Trugschluss oder ein versteckter Erfahrungsschluss", von den Liebhabern der Metaphysik und der Anschauungen a priori nicht günstig angesehen wird, brauche ich nicht auseinanderzusetzen. Metaphysiker pflegen, wie Alle, die ihren Gegnern keine entscheidenden Gründe entgegenzusetzen haben, nicht höflich in ihrer Polemik zu sein; den eigenen Erfolg kann man ungefähr an der steigenden Unhöflichkeit der Rückäusserungen beurtheilen.

Meine eigenen Arbeiten haben mich mehr, als die übrigen Jünger der naturwissenschaftlichen Schule, in die strittigen Gebiete geführt, und die Aeusserungen metaphysischer Unzufriedenheit haben mich deshalb auch mehr als meine Freunde betroffen, wie ja Viele von Ihnen wissen werden.

Um also meine persönlichen Meinungen ausser Spiel zu lassen, habe ich schon zwei unverdächtige Gewährsmänner für mich sprechen lassen, Sokrates und Kant, welche beide sicher waren, dass alle bis zu ihrer Zeit aufgestellten metaphysischen Systeme Gewebe von eitel Trugschlüssen waren, und selbst sich hüteten ein neues hinzuzufügen. Nur um zu zeigen, dass weder in den letzten 2000, noch in den letzten 100 Jahren sich die Sache geändert hat, lassen Sie mich schliessen mit einem Ausspruch des uns leider zu früh entrissenen Verfassers der Geschichte des Materialismus, Friedrich Albert Lange. In seinen nachgelassenen „Logischen Studien", die er schon in der Aussicht auf sein herannahendes Ende geschrieben hat, giebt er (S. 6) folgende Schilderung, die mir aufgefallen ist, weil sie eben

Digitized by Google

so gut von den Solidar- und Humoralpathologen oder beliebigen anderen alten dogmatischen Schulen der Medicin gelten könnte. Lange sagt: „Der Hegelianer schreibt zwar dem Herbartianer ein unvollkommeneres Wissen zu als sich selbst, und umgekehrt; aber keiner nimmt Anstand, das Wissen des Andern gegenüber dem des Empirikers als ein höheres, und wenigstens als eine Annäherung an das allein wahre Wissen anzuerkennen. Es zeigt sich also, dass hier von der Bündigkeit des Beweises ganz abgesehen und schon die blosse Darstellung in Form der Deduction aus dem Ganzen eines Systems heraus als apodiktisches Wissen anerkannt wird."

Werfen wir also keine Steine auf unsere alten medicinischen Vorgänger, die in dunklen Jahrhunderten und mit geringen Vorkenntnissen in genau dieselben Fehler verfallen sind, wie die grossen Intelligenzen des aufgeklärt sein wollenden neunzehnten Jahrhunderts. Jene machten es nicht schlechter als ihre Zeitgenossen, nur trat das Widersinnige der Methode an dem naturwissenschaftlichen Stoffe stärker hervor. Arbeiten wir weiter. Die Aerzte sind berufen, in diesem Werke der wahren Aufklärung eine hervorragende Rolle zu spielen. Unter den Ständen, welche ihre Kenntniss der Natur gegenüber fortdauernd handelnd bewähren müssen, sind sie diejenigen, welche mit der besten geistigen Vorbereitung herantreten und mit den mannigfachsten Gebieten der Naturerscheinungen bekannt werden.

Um endlich unsere Consultation über den Zustand der Dame Medicin rite mit der Epikrisis zu schliessen: so meine ich, wir haben alle Ursache, mit dem Erfolge der Behandlung zufrieden zu sein, die ihr die naturwissenschaftliche Schule hat angedeihen lassen, und wir können der jüngeren Generation nur empfehlen, in derselben Therapie fortzufahren.

Digitized by Google

Anhang zu Seite 174.

Der Text der ersten Ausgabe enthielt nur die Worte: „Hier ist schon die Frage angesponnen, die später von ärztlicher Seite zur Aufstellung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft führte."

Dazu hat Herr J. R. Mayer in den von Dr. Fr. Betz herausgegebenen Memorabilien, Monatshefte für rationelle praktische Aerzte. Jahrg. XXII, S. 524, die Bemerkung gemacht: „So viel mir aber bekannt, so wurde das Princip oder Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft zuerst von dem grossen holländischen Mechaniker Huyghens, einem Zeitgenossen Newton's, also schon vor etwa zwei Jahrhunderten aufgefunden und dann später namentlich von Leibnitz gegen Descartes in Schutz genommen. Dieses Gesetz ist also schon viel früher bekannt, als die in unsere Zeit fallende Entdeckung des mechanischen Wärme-Aequivalents mit seinen Beziehungen zur Medicin."

Nun ist aber das Gesetz, welches ich unter dem Namen der Erhaltung der Kraft aufgestellt habe, wesentlich verschieden von dem, was die älteren Mechaniker das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft nannten, wie denn auch in meiner Abhandlung die beiden Namen in Gegensatz zu einander gebracht worden sind. Beide Gesetze sind allerdings öfter verwechselt worden, wie hier von Herrn Dr. R. Mayer, so auch von denjenigen anderen Physikern, welche die Entdeckung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft auf Newton zurückdatiren. Das ältere Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft sagt aus, dass die gesammte lebendige Kraft eines bewegten Massensystems bei gleicher relativer Lage der wirkenden Massen zu einander immer wieder denselben Werth erhält unter der Voraussetzung, dass sämmtliche mitwirkende Kräfte einen gewissen analytischen Charakter haben, oder um den neuerdings

Digitized by Google

von Sir W. Thomson eingeführten Namen zu gebrauchen, in die Classe der „conservativen“ Kräfte gehören. Die älteren Mechaniker wussten, dass eine grosse Anzahl von wichtigen und wohlbekannten Bewegungskräften, wie Gravitation, Schwere, Elasticität, Flüssigkeitsdruck conservativ sind, daneben aber liessen sie ohne weiteres Bedenken auch nicht conservative Kräfte zu, wie Reibung, unelastischen Stoss u. s. w.

Dagegen behauptet das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, dass alle elementaren Naturkräfte conservativ seien, was offenbar eine ganz andere Behauptung ist, als die früher aufgestellte, wo diese Natur der Kräfte nur als Bedingung für einen gewissen Erfolg und als einer unter mehreren möglichen Fällen angenommen wurde. Meine Abhandlung über die Erhaltung der Kraft hat den ausgesprochenen Zweck, die Gültigkeit dieses zweiten Gesetzes an den Thatsachen zu prüfen.

Historisch genommen war um die Zeit, als die Herren R. Mayer und P. Joule ihre Arbeiten begannen, die wichtigste Lücke, die der allgemeinen Geltendmachung des letztgenannten Gesetzes entgegenstand, die mangelnde Kenntniss der Aequivalenz zwischen Wärme und mechanischer Arbeit. Insofern war die Auffassung der Idee eines solchen Verhältnisses und dessen thatsächlicher Nachweis ein wichtiger Fortschritt. Aber es scheint mir die allgemeine Bedeutung eines der weitreichendsten Naturgesetze herabzuziehen, wenn man darin nur eine Beziehung zwischen Wärme und Arbeit sieht. Ich habe indessen dem in der vorher citirten Stelle von Herrn R. Mayer ausgedrückten Wunsche entsprechend den Text meiner Rede geändert. Meine Absicht war nicht gewesen ihm weniger, sondern mehr zuzuschreiben, als er selbst für sich in Anspruch nimmt.

Was ich selbst in dieser Richtung gethan habe, habe ich oben nur als die „Formulirung“ des Gesetzes bezeichnet; in der That habe ich es nie als eine Entdeckung im eigentlichen Sinne betrachtet oder dafür ausgegeben. Die Unmöglichkeit, eine Triebkraft ohne Verbrauch zu erzeugen, hatte sich seit ältester Zeit den Mechanikern aufgedrängt; sie ward als inductiv gewonnene feste Ueberzeugung der leitenden wissenschaftlichen Männer ausgesprochen, als die Europäischen Akademien den Beschluss fassten, keine Mittheilungen über die Erfindung eines Perpetuum mobile mehr anzunehmen. Was noch zu leisten blieb, war, diejenigen Beziehungen zwischen den Naturkräften theoretisch fest zu definiren und experimentell zu prüfen, welche bestehen mussten,

Digitized by Google

wenn kein Perpetuum mobile möglich sein sollte, um die allseitige Berechtigung und Gültigkeit der genannten Induction festzustellen. Das war die Absicht meiner Arbeit. Die erste Veranlassung dazu war für mich, dass ich eine klare und präcise Bestimmung dieser Beziehungen nöthig fand, um die Zulässigkeit der auf Seite 177 erwähnten Theorie G. E. Stahl's zu prüfen. Meine Arbeit war, meiner eigenen damaligen Ueberzeugung nach, daher eine wesentlich kritische. Was darin von Entdeckung steckte, war das Ergebniss der Arbeit derjenigen, welche alle Wege, um zum Perpetuum mobile zu gelangen, einzuschlagen versucht und alle ungangbar gefunden hatten. Von dieser Grundlage aus methodisch die bekannten physikalischen Gesetze analysirend, musste ich auch die Aequivalenz zwischen Wärme und Arbeit finden, welche wenige Jahre vorher die Herren R. Mayer und P. Joule, ohne dass ich von ihnen wusste, ebenfalls gefunden hatten. Von letzterem lernte ich erst unmittelbar vor der Absendung meines Manuscripts einige seiner ersten, noch unvollkommeneren Versuche kennen.

Ich behalte mir vor, bei einer anderen passenderen Gelegenheit auf die Geschichte dieser Entdeckung zurückzukommen [1]).

---

[1]) Dies ist geschehen in Bd. I dieser Sammlung, S. 60 bis 74.

Digitized by Google

ÜBER DIE

AKADEMISCHE FREIHEIT

DER

DEUTSCHEN UNIVERSITÄTEN.

Rede

beim

Antritt des Rectorats an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin gehalten am 15. October 1877.

Digitized by Google

Hochgeehrte Herren!

Indem ich das ehrenvolle Amt übernehme, zu welchem mich das Vertrauen meiner Amtsgenossen berufen hat, ist die mir zunächst obliegende Pflicht, nochmals hier öffentlich meinen Dank gegen diejenigen auszusprechen, die mir ein solches Vertrauen geschenkt haben. Ich habe Grund, dasselbe um so höher zu schätzen, da es mir übertragen wurde, trotzdem ich erst eine kurze Reihe von Jahren in Ihrer Mitte weile, und trotzdem ich dem Kreise der Naturwissenschaften angehöre, die als ein etwas fremdartiges Element in den Kreis des Universitätsunterrichts eingetreten sind und zu mancherlei Abänderungen in der altbewährten Organisation der Universitäten gedrängt haben, zu anderen vielleicht noch drängen werden. Ja gerade in dem von mir vertretenen Fache der Physik, welches die theoretische Grundlage sämmtlicher anderen Zweige der Naturwissenschaften bildet, treten auch die besonderen Charakterzüge ihrer Methode am schärfsten hervor. Ich selbst bin schon einige Male in der Lage gewesen, Veränderungen der bisherigen Normen an der Universität zu beantragen, und hatte die Freude, stets die bereitwillige Unterstützung meiner Facultätsgenossen und des Senates zu finden. Dass Sie mich zum Leiter der Geschäfte dieser Universität für das nächste Jahr gewählt haben, zeigt mir, dass Sie mich für keinen unbedachten Neuerer halten. In der That, so sehr auch die Objecte, die Methoden, die nächsten Ziele naturwissenschaftlicher Untersuchungen von denen der Geisteswissenschaften äusserlich unterschieden sein mögen, und so fremdartig ihre Ergebnisse, so fernliegend das Interesse daran oft denjenigen Männern erscheinen mag, die gewöhnt sind, sich nur mit den unmittelbaren Aeusserungen und Erzeugnissen des Geisteslebens zu beschäftigen, so besteht doch, wie ich schon in einer Heidelberger Rectoratsrede [1]) darzulegen mich bemüht habe,

---

[1]) Siehe Bd. I, S. 117 bis 145.

Digitized by Google

in Wahrheit die engste Verwandtschaft im innersten Wesen der wissenschaftlichen Methode, wie in den letzten Zielen beider Classen von Wissenschaften. Wenn die meisten Untersuchungsobjecte der Naturwissenschaften nicht unmittelbar mit Interessen des Geistes verknüpft sind, so darf man andererseits nicht vergessen, dass die Macht der ächten wissenschaftlichen Methode in ihnen viel deutlicher heraustritt, dass das Aechte vom Unächten durch die unbestechliche Kritik der Thatsachen viel schärfer geschieden wird, als es den verwickelteren Problemen der Geisteswissenschaften gegenüber der Fall ist.

Aber nicht bloss die Entwickelung dieser neuen, dem Alterthum fast unbekannten Seite wissenschaftlicher Thätigkeit, sondern auch der Einfluss mannigfacher politischer, socialer, selbst internationaler Beziehungen machen sich fühlbar und fordern Berücksichtigung. Der Kreis unserer Schüler hat sich erweitern müssen, das geänderte Staatsleben stellt andere Anforderungen an die ausscheidenden, immer mehr theilen sich die Zweige der Wissenschaften, immer grössere und mannigfaltigere äussere Hilfsmittel werden für das Studium noch neben den Bibliotheken nöthig. Kaum ist vorauszusehen, welchen neuen Anforderungen und Entscheidungen wir uns in nächster Zeit gegenübergestellt finden werden.

Andererseits haben die deutschen Universitäten sich eine Ehrenstellung nicht bloss in ihrem Vaterlande errungen; die Augen der civilisirten Welt sind auf sie gerichtet. Schüler der verschiedensten Zungen strömen ihnen selbst aus fernen Welttheilen zu. Eine solche Stellung kann durch einen falschen Schritt leicht verloren, aber schwer wiedergewonnen werden.

Unter diesen Unständen ist es unsere Pflicht, dass wir uns klar zu machen suchen, was der innere Grund der bisherigen Blüthe unserer Universitäten ist, welchen Kern ihrer Einrichtungen wir als unberührbares Heiligthum zu erhalten suchen müssen, wo hingegen nachgegeben werden dürfte, wenn Aenderungen verlangt werden. Ich halte mich keineswegs für berechtigt, hierüber endgültig absprechen zu wollen. Der Standpunkt jedes Einzelnen ist ein beschränkter; Vertreter anderer Wissenschaften werden von anderen Gesichtspunkten hier noch Anderes zu erkennen vermögen. Aber ich denke, ein endgültiges Ergebniss kann nur festgestellt werden, wenn Jeder klar zu machen sucht, wie die Verhältnisse ihm von seinem Standpunkte aus erscheinen.

Digitized by Google

Die mittelalterlichen Universitäten Europa's haben ihren Ursprung zunächst als private freie Vereinigungen ihrer Studirenden genommen, welche unter dem Einflusse berühmter Lehrer zusammentraten und ihre Angelegenheiten selbst ordneten. In Anerkennung des öffentlichen Nutzens dieser Vereine erhielten sie bald von Seiten der Staatsgewalt schützende Privilegien und Ehrenrechte, namentlich eigene Gerichtsbarkeit und das Recht, akademische Grade zu verleihen. Die Studirenden jener Zeit waren überwiegend reife Männer, die zunächst nur zur eigenen Belehrung und ohne unmittelbaren praktischen Zweck die Universitäten aufsuchten; bald fing man an, auch jüngere hinzusenden, welche meist unter Aufsicht der älteren Mitglieder gestellt wurden. Die einzelnen Universitäten zerfielen wieder in engere ökonomische Vereine unter dem Namen von Nationes, Bursae, Collegia, deren ältere graduirte Mitglieder, Seniores, die gemeinsamen Angelegenheiten jedes solchen Vereins verwalteten, und auch zur Verwaltung der gemeinsamen Universitätsangelegenheiten zusammentraten. Noch jetzt sind im Hofe der Universität von Bologna Wappenschilder und Verzeichnisse der Mitglieder und Senioren vieler solcher Nationes aus alter Zeit erhalten. Die älteren graduirten Mitglieder wurden ihr Leben lang als bleibende Glieder der Vereine betrachtet und behielten namentlich ihr Stimmrecht, wie dies in den Doctorencollegien der Universität Wien und in den Colleges von Oxford und Cambridge bis vor Kurzem der Fall war oder noch jetzt ist.

Eine solche freie Vereinigung selbständiger Männer, wo Lehrer wie Lernende von keinem andern Interesse zusammengeführt wurden, als von der Liebe zur Wissenschaft, die einen durch das Streben, die Schätze geistiger Bildung, welche das Alterthum hinterlassen, kennen zu lernen, die anderen bemüht, die ideale Begeisterung, welche ihr Leben durchwärmt hatte, in einer neuen Generation zu entzünden, war der Anfang der Universitäten, der Idee nach und in der Anlage ihrer Organisation auf die vollste Freiheit gegründet. Aber man darf bei ihnen nicht an Lehrfreiheit im modernen Sinne denken. Die Majorität pflegte sehr intolerant gegen abweichende Meinungen zu sein. Nicht ganz selten wurden die Anhänger der Minorität gezwungen, die Universität ganz zu verlassen. Das geschah nicht bloss da, wo die Kirche sich einmischte, und wo politische oder metaphysische Sätze in Frage kamen. Selbst die medicinischen Facultäten, die von Paris als die berühmteste von ihnen an der Spitze,

Digitized by Google

litten keine Abweichungen von dem, was sie als die Lehre des Hippokrates betrachteten. Wer Arzneien der Araber brauchte oder an den Kreislauf des Blutes glaubte, wurde ausgestossen.

Die Umformung der Universitäten in ihre jetzige Verfassung wurde wesentlich dadurch bedingt, dass ihnen der Staat seine materielle Hilfe gewährte, dafür aber auch das Recht in Anspruch nahm, bei ihrer Leitung mitzuwirken. Der Gang dieser Entwickelung war in den verschiedenen Ländern Europa's verschieden, theils bedingt durch die Abweichungen der politischen Verhältnisse, theils durch die der nationalen Sinnesweise.

Am wenigsten verändert worden sind die beiden alten englischen Universitäten Oxford und Cambridge. Ihr grosses Stiftungsvermögen, der politische Sinn der Engländer für Conservirung jedes bestehenden Rechts haben fast jede Veränderung ausgeschlossen selbst nach solchen Richtungen hin, wo eine solche dringend wünschenswerth erschienen wäre. Beide Universitäten haben im Wesentlichen noch jetzt [1]) ihren Charakter beibehalten als Schulen für Kleriker, ehemals der Römischen, jetzt der Anglicanischen Kirche, an deren Unterricht, so weit er der allgemeinen Bildung des Geistes dienen kann, auch Laien Theil nehmen, die dabei einer ähnlichen Aufsicht und Lebensweise unterworfen sind, wie man sie ehemals für die jungen Kleriker anzuordnen für gut fand. Sie leben in Convicten (Colleges) zusammen unter Aufsicht einer Anzahl graduirter älterer Mitglieder (Fellows) des College, übrigens in dem Stil und in den Sitten der wohlhabenden Classen Englands. Ausgehen dürfen sie nur in vorgeschriebener Tracht von etwas klerikalem Schnitt, an der nicht nur die erlangten akademischen Grade, sondern auch die verschiedenen Adelsclassen durch besondere Abzeichen unterschieden sind. Der Unterricht ist dem Inhalt und den Methoden nach ein höher getriebener Gymnasialunterricht, nur in seiner Beschränkung auf das, was später im Examen verlangt wird, und in dem Einstudiren des Inhalts vorgeschriebener Lehrbücher mehr den Repetitorien ähnlich, wie sie an unseren Universitäten auch wohl gehalten werden. Die Leistungen der Studirenden werden durch sehr eingehende Examina für die Erwerbung der akademischen Grade controlirt, in denen sehr specielle Kenntnisse, aber nur

---

[1]) Die hier folgende Schilderung der Verhältnisse an den englischen Universitäten bezieht sich auf Zustände, wie sie etwa bis 1850 bestanden. In neuerer Zeit sind grosse Fortschritte gemacht worden.

Digitized by Google

für mässig ausgedehnte Gebiete verlangt werden. Durch solche Prüfungen werden die alten Abstufungen akademischer Würden des Baccalaureus, Licentiatus, Magister artium, Doctor erworben. Als Lehrer fungiren hauptsächlich nur die schon genannten Fellows und zwar nicht in Kraft einer officiellen Berufung dazu, wie unsere Gymnasiallehrer, sondern vielmehr als von einer Gruppe von Studirenden engagirte Privatlehrer. Professoren giebt es nur wenige, und diese halten verhältnissmässig wenige, meist schwach besuchte Vorlesungen, gewöhnlich über einzelne ganz specielle Capitel der Wissenschaft. Ihre Vorlesungen bilden durchaus keinen wesentlichen Theil des Unterrichts, sondern geben höchstens einzelnen Studirenden, welche aus eigenem Interesse weiter streben, die Gelegenheit zu grösseren Fortschritten. Die einzelnen Colleges bestehen übrigens in vollständiger Trennung von einander, und nur die Abhaltung der Examina, die Ertheilung der Grade und die Ernennung einzelner Professoren ist gemeinsame Universitätsangelegenheit.

Erst in neuester Zeit hat man angefangen, Studirende, die nicht der Anglicanischen Kirche angehören, zuzulassen und für Unterricht in medicinischen und juristischen Fachwissenschaften einigermaassen zu sorgen. Unter den Professoren der englischen Universitäten sind eine grosse Zahl höchst ausgezeichneter und für die Wissenschaft bedeutender Männer gewesen. Da aber bei der Wahl derselben nicht nur alle gegenwärtig der Corporation angehörigen Fellows Stimmrecht haben, sondern auch alle, die ehemals Fellows waren und jetzt von der Universität getrennt leben ohne weitere Interessengemeinschaft mit dieser, dagegen tief verstrickt in politische und kirchliche Parteibestrebungen: so haben Parteirücksichten neben persönlicher Kameradschaft meist viel entscheidenderen Einfluss als das wissenschaftliche Verdienst. In dieser Beziehung haben sich die englischen Universitäten die ganze Intoleranz der mittelalterlichen bewahrt. Die betreffenden Professoren sind übrigens nicht einmal gehalten, in der Universitätsstadt zu wohnen, sondern können irgendwo sonst im Königreich ihren Wohnsitz wählen und ein beliebiges Amt verwalten, z. B. nicht selten das eines Landpfarrers, wenn sie nur wöchentlich einmal zur Universität kommen, um eine Vorlesung zu halten; und oft genug soll nicht einmal so viel geschehen.

Während die englischen Universitäten von den ungeheuren Hilfsmitteln, über die sie verfügen, verhältnissmässig wenig auf

Digitized by Google

die Dotation von Stellen wissenschaftlich bewährter Lehrer, und das Wenige nicht einmal consequent für diesen Zweck verwenden, haben sie eine andere Einrichtung, welche scheinbar viel für wissenschaftliches Studium zu leisten verspricht, bisher aber kaum viel geleistet hat, nämlich die Einrichtung der Fellowships. Diejenigen, welche die besten Examina gemacht haben, können als Fellows in dem College verbleiben, wo sie Wohnung und Unterhalt finden, und daneben ein auskömmliches Gehalt (200 Ls.) beziehen, um ihnen ganz freie Musse für wissenschaftliche Beschäftigungen zu gewähren. Oxford hat 557, Cambridge 531 solche Stellen. Die Fellows können daneben, aber sie brauchen es nicht, als Lehrer (Tutors) der Studirenden des College functioniren. Sie brauchen nicht einmal in der Universitätsstadt zu wohnen, sondern können ihr Stipendium verzehren, wo sie wollen, und können es auf unbestimmte Zeit behalten. Nur wenn sie heirathen oder ein Amt annehmen, verlieren sie es, besondere Fälle ausgenommen. Sie sind die eigentlichen Rechtsnachfolger der alten studentischen Corporationen, durch und für welche die Universität gestiftet und fundirt wurde. Aber so schön der Plan dieser Einrichtung auch aussieht, so staunenswerth grosse Geldmittel darauf verwendet werden, so wenig leistet sie nach dem Urtheil aller unbefangenen Engländer für die Wissenschaft; offenbar deshalb, weil die meisten dieser jungen Männer, obgleich sie die Elite der Schüler sind und sich in den denkbar günstigsten Umständen für wissenschaftliche Arbeit befinden, während ihrer Studienzeit nicht genug mit dem lebendigen Geiste des Forschens in Berührung gekommen sind, um nun ihrerseits aus eigenem Interesse und eigener Begeisterung weiter zu arbeiten.

Die englischen Universitäten leisten in gewissen Beziehungen sehr Erhebliches. Sie erziehen ihre Schüler zu gebildeten Männern, freilich zu solchen, die die Schranken ihrer politischen und kirchlichen Partei nicht durchbrechen sollen und auch in der That nicht durchbrechen. Oxford gehört vorzugsweise den Tories, Cambridge den Whigs an. In zwei Dingen besonders könnten wir ihnen wohl nachzustreben suchen. Erstens entwickeln sie bei ihren Schülern neben einem lebendigeren Gefühl für die Schönheit und Jugendfrische des Alterthums auch den Sinn für Feinheit und Schärfe des sprachlichen Ausdrucks in höchst anerkennenswerthem Grade, und dies macht sich bei ihnen namentlich auch geltend in der Weise, wie sie ihre Muttersprache zu handhaben wissen. In dieser Richtung ist, wie ich fürchte, eine

Digitized by Google

der schwächsten Seiten des deutschen Jugendunterrichts zu finden. Zweitens sorgen die englischen Universitäten, wie ihre Schulen, viel besser für das körperliche Wohl ihrer Studirenden. Diese wohnen und arbeiten in luftigen, geräumigen, von Grasplätzen und Baumanlagen umgebenen Gebäuden und finden einen wesentlichen Theil ihres Vergnügens in Spielen, die leidenschaftlichen Wetteifer in Ausbildung körperlicher Energie und Geschicklichkeit erregen, und sich in dieser Beziehung viel wirksamer bewähren als unsere Turn- und Fechtübungen. Man darf nicht vergessen, dass junge Männer, je mehr man sie von frischer Luft und der Gelegenheit zu kräftiger Bewegung absperrt, desto geneigter werden, eine scheinbare Erfrischung im Missbrauch des Tabaks und der berauschenden Getränke zu suchen. Anzuerkennen ist übrigens auch, dass die englischen Universitäten ihre Schüler an energisches und genaues Arbeiten gewöhnen und sie in den Sitten der gebildeten Gesellschaft festhalten. Was die moralische Wirkung der strengeren Aufsicht betrifft, so soll diese ziemlich illusorisch sein.

Die schottischen und einige kleinere englische Universitäten neueren Ursprungs, wie University College und King's College in London, Owen's College in Manchester, sind mehr nach deutschem und holländischem Muster durchgeführt.

Ganz abweichend, fast entgegengesetzt ist die Entwickelung der französischen Universitäten vor sich gegangen. Bei der Geneigtheit der Franzosen, alles historisch Entwickelte nach rationalistischen Theorien über den Haufen zu werfen, sind auch ihre Facultäten in ganz consequenter Weise zu reinen Unterrichtsanstalten, Fachschulen mit ganz festen Regulativen für den Gang des Unterrichts, ausgebildet und ganz getrennt von denjenigen Instituten, welche dem Fortschritt der Wissenschaft dienen sollen, wie das Collège de France, der Jardin des Plantes, die École des études supérieures. Die Facultäten sind auch von einander gänzlich getrennt, selbst wo sie in derselben Stadt zusammen liegen. Die Ordnung der Studien ist fest vorgeschrieben und wird durch häufige Examina controlirt. Der französische Unterricht beschränkt sich auf das, was klar feststeht, und überliefert dies in wohl geordneter, sorgfältig durchgearbeiteter Weise, leicht verständlich, ohne sich auf Zweifel und tiefere Begründung einzulassen. Die dazu verwendeten Lehrer brauchen nur gute receptive Talente zu sein. Eben deshalb gilt es in Frankreich fast als ein falscher Schritt, wenn ein junger Mann von viel versprechendem Talent

Digitized by Google

eine Professur an einer Facultät der Provinz übernimmt. Die Art des französischen Unterrichts ist gut geeignet, um Schülern auch von mässiger Begabung ausreichende Kenntnisse für die Routine ihres Berufes zu geben. Sie haben keine Wahl zwischen verschiedenen Lehrern und schwören also in verba magistri; das giebt eine glückliche Zufriedenheit mit sich selbst und Freiheit von Zweifeln. War der Lehrer gut gewählt, so genügt dies für die gewöhnlich vorkommenden Fälle, in denen der Schüler es so macht, wie er es den Lehrer hat machen sehen. Erst in den ungewöhnlichen Fällen erprobt es sich ja, wie viel wirkliche Einsicht und Urtheil der Schüler gewonnen hat. Uebrigens ist die französische Nation begabt, lebhaft und ehrgeizig; das corrigirt viele Mängel des Unterrichtssystems.

Ein eigenthümlicher Zug in der Organisation der französischen Universitäten liegt darin, dass die Stellung des Lehrers von dem Beifall seiner Zuhörer ganz unabhängig gemacht ist. Die Schüler, die seiner Facultät angehören, sind der Regel nach gehalten, seine Vorlesungen zu besuchen, und die ziemlich erheblichen Gebühren, welche sie zahlen, fliessen in die Casse des Unterrichtsministeriums; aus ihnen werden die regelmässigen Gehalte sämmtlicher Universitätsprofessoren gedeckt; der Staat giebt zur Unterhaltung der Universitäten nur einen verschwindenden Beitrag. Wenn also nicht wirkliche Freude an der Lehrthätigkeit oder der Ehrgeiz, viele Zuhörer zu haben, wirksam ist, wird der Lehrer für den Erfolg seines Unterrichts leicht gleichgiltig werden und es sich bequem machen können.

Ausserhalb der Hörsäle leben die französischen Studirenden ohne Aufsicht, ohne besonderes Standesgefühl und Standessitte mit den gleichartigen jungen Männern anderer Berufsarten vermischt.

Eigenthümlich weicht von diesen beiden Extremen die Entwickelung der deutschen Universitäten ab. Zu arm an eigenem Vermögen, um nicht bei den wachsenden Ansprüchen an die Mittel des Unterrichts gern die Hilfe des Staats annehmen zu müssen, und zu machtlos, um in den Zeiten, wo die modernen Staaten sich zu festigen suchten, den Eingriffen in die alten Rechtsverhältnisse widerstehen zu können, mussten die deutschen Universitäten sich dem leitenden Einfluss der Staatsgewalt fügen. Principiell ging in Folge dessen die letzte Entscheidung in fast allen wichtigeren Universitätsangelegenheiten an den Staat über, und gelegentlich wurde auch in Zeiten politischer und kirchlicher

Digitized by Google

Spannung von dieser Obergewalt rücksichtsloser Gebrauch gemacht. In den meisten Fällen aber waren die sich neu zu selbständiger Herrschaft herausarbeitenden Staatsgewalten den Universitäten günstig gestimmt; sie bedurften intelligenter Beamten, und der Ruhm der Landesuniversität gab auch dem Regimente einen gewissen Glanz. Die verwaltenden Beamten waren ausserdem meist Schüler der Universität, sie blieben ihr anhänglich. Es ist sehr merkwürdig, wie unter den Kriegsstürmen und politischen Umwälzungen in den mit dem zerfallenden Kaiserthum um die Befestigung ihrer jungen Souveränität kämpfenden Staaten, während fast alle übrigen alten Standesrechte zu Grunde gingen, die Universitäten Deutschlands einen viel grösseren Kern innerer Freiheit und zwar der werthvollsten Seiten dieser Freiheit gerettet haben, als in dem gewissenhaft conservativen England und dem der Freiheit stürmisch nachjagenden Frankreich.

Es ist stehen geblieben bei uns die alte Auffassung der Studirenden als selbst verantwortlicher junger Männer, die aus eigenem Triebe die Wissenschaft suchen, und denen man es frei überlässt, ihren Studienplan sich einzurichten, wie sie es für gut finden. Wenn für einzelne Berufsarten noch das Hören bestimmter Vorlesungen vorgeschrieben wurde, sogenannter Zwangscollegien, so war es nicht die Universität als solche, sondern es waren die Staatsbehörden, welche später den Candidaten zu einem bestimmten Beruf zulassen sollten, die solche Vorschrift gaben. Dabei herrscht jetzt und herrschte schon früher, mit vorübergehenden Ausnahmen, vollkommene Freizügigkeit der Studirenden zwischen allen Universitäten deutscher Zunge von Dorpat bis Zürich, Wien und Gratz, an jeder einzelnen Universität aber freie Wahl zwischen den Lehrern, die dasselbe Fach vortragen, gänzlich unabhängig von deren Stellung als ordentlicher, ausserordentlicher Professoren oder Privatdocenten. Ja es bleibt den Studirenden die Möglichkeit offen, daneben einen beliebig grossen Theil ihrer Belehrung in Büchern zu suchen; es ist sogar höchst wünschenswerth, dass die Werke der grossen Männer vergangener Zeit einen wesentlichen Theil des Studiums ausmachen.

Ausserhalb der Universität fällt jede Aufsicht über das Treiben der Studirenden fort, so lange sie nicht mit den Dienern der öffentlichen Sicherheit in Collision gerathen. Ausser diesen Fällen ist die einzige Aufsicht, der sie unterliegen, die ihrer eigenen Commilitonen, welche sie hindert, etwas, was gegen das Ehrgefühl des Standes verstösst, zu unternehmen. Die mittel-

Digitized by Google

alterlichen Universitäten bildeten fest geschlossene Corporationen mit eigener Gerichtsbarkeit, die bis zum Recht über Leben und Tod ihrer Mitglieder reichte. Da sie meist auf fremdem Boden lebten, so war diese eigene Gerichtsbarkeit nöthig, theils um die Mitglieder vor Willkürlichkeiten fremder Gerichtsherren zu schützen, theils um denjenigen Grad von Achtbarkeit und Ordnung innerhalb der Corporation zu erhalten, der nöthig war, um ihr die Fortdauer des Gastrechts auf fremdem Gebiete zu sichern und um die Streitigkeiten zwischen ihren eigenen Mitgliedern zu schlichten. Unter den neueren staatlichen Verhältnissen sind die Reste dieser akademischen Gerichtsbarkeit allmälig ganz an die ordentlichen Gerichte übergegangen oder werden in der nächsten Zeit übergehen, aber die Nothwendigkeit, für einen so grossen Verein lebhafter und kräftiger junger Männer gewisse Beschränkungen festzuhalten, die den Frieden den Commilitonen und den bürgerlichen Bewohnern der Stadt gegenüber sichern, besteht fort. Dahin zielt in Collisionsfällen die disciplinarische Gewalt der Universitätsbehörden. Hauptsächlich jedoch muss auch noch jetzt dieses Ziel erreicht werden durch das Gefühl der studentischen Ehrenhaftigkeit, und es ist ein Glück zu nennen, dass dieses Gefühl der corporativen Zusammengehörigkeit und die damit zusammenhängende Forderung der Ehrenhaftigkeit des Einzelnen bei den deutschen Studenten lebendig geblieben ist. Ich will damit keineswegs alle einzelnen Bestimmungen in dem Codex studentischer Ehre vertheidigen; es sind einige mittelalterliche Ruinen darin, die besser weggeräumt würden; das können aber nur die Studirenden selbst thun.

Für die meisten Ausländer ist die aufsichtslose Freiheit der deutschen Studirenden, da ihnen zunächst nur einige leicht erkennbare Auswüchse dieser Freiheit in die Augen fallen, ein Gegenstand des Staunens; sie begreifen nicht, wie man ohne den grössten Schaden junge Männer so sich selbst überlassen könne. Dem deutschen Manne bleibt an seine Studienzeit eine Rückerinnerung, wie an das goldene Alter der Lebens; unsere Litteratur und Poesie ist durchweht von Aeusserungen dieses Gefühls. Dagegen findet man nichts Aehnliches auch nur angedeutet in der Litteratur der übrigen europäischen Völker. Nur dem deutschen Studenten wird diese volle Freude an der Zeit, wo er im ersten Genusse junger Selbstverantwortlichkeit, zunächst noch von der Arbeit für fremde Interessen befreit, ausschliesslich der Aufgabe leben darf dem Besten und Edelsten nachzustreben, was

Digitized by Google

das Menschengeschlecht bisher im Stande war an Wissen und Anschauungen zu gewinnen, eng verbunden in freundschaftlichem Wetteifer mit einer grossen Anzahl gleichstrebender Genossen und in täglichem geistigem Verkehr mit Lehrern, von denen er lernt, wie die Gedanken selbständiger Köpfe sich bewegen. Wenn ich an meine eigene Studienzeit zurückdenke und an den Eindruck, den ein Mann, wie Johannes Müller, der Physiolog, auf uns machte, so muss ich diesen letztgenannten Punkt sehr hoch anschlagen. Wer einmal mit einem oder einigen Männern ersten Ranges in Berührung gekommen ist, dessen geistiger Maassstab ist für das Leben verändert; zugleich ist solche Berührung das Interessanteste, was das Leben bieten kann.

Sie haben, meine jungen Freunde, in dieser Freiheit der deutschen Studenten ein kostbares und edles Vermächtniss der vorausgegangenen Generationen empfangen. Wahren Sie es und hinterlassen Sie es den kommenden Geschlechtern, wo möglich noch gereinigt und veredelt. Zu wahren aber haben Sie es, indem Sie, jeder an seiner Stelle, dafür sorgen, dass die deutsche Studentenschaft dieses Vertrauens werth bleibe, welches ihr bisher einen solchen Grad der Freiheit eingeräumt hat. Freiheit bringt nothwendig Verantwortlichkeit mit sich. Sie ist ein ebenso verderbliches Geschenk für haltlose Charaktere, als sie werthvoll für starke ist. Wundern Sie sich nicht, wenn auch bei uns Väter und Staatsmänner zuweilen darauf drängen, dass ein dem englischen ähnliches, strengeres System von Beaufsichtigung und Controle eingeführt werde. Es ist keine Frage, dass durch ein solches noch Mancher gehalten werden könnte, der an der Freiheit zu Grunde geht. Dem Staat und der Nation freilich ist besser gedient mit denjenigen, welche die Freiheit ertragen können und gezeigt haben, dass sie aus eigener Kraft und Einsicht, aus eigenem Interesse an der Wissenschaft zu arbeiten und zu streben wissen.

Wenn ich vorher betont habe, welchen Einfluss die geistige Berührung mit bedeutenden Männern habe, so führt mich dies zur Besprechung einer anderen Eigenthümlichkeit, durch welche sich die deutschen Universitäten von den englischen und französischen unterscheiden. Es ist die, dass man bei uns darauf ausgeht, den Unterricht, wo möglich, nur von Lehrern ertheilen zu lassen, welche ihre Fähigkeit, die Wissenschaft selbst zu fördern, dargethan haben; wir betrachten dies unbedingt als die hauptsächlichste Qualification des Lehrers. Auch dies ist ein Punkt,

Digitized by Google

über welchen Engländer und Franzosen häufig ihre Verwunderung aussprechen. Sie legen mehr Gewicht als die Deutschen, auf das sogenannte Lehrtalent, das heisst auf die Fähigkeit, in wohlgeordneter, klarer Form, und wo möglich in beredter, die Aufmerksamkeit fesselnder und unterhaltender Weise die Gegenstände des Unterrichts auseinanderzusetzen. Vorlesungen berühmter Redner am Collège de France, Jardin des Plantes, ebenso wie in Oxford und Cambridge sind häufig Sammelpunkte der eleganten und gebildeten Welt. In Deutschland ist man nicht nur gleichgiltig, sondern sogar misstrauisch gegen oratorischen Schmuck, und allerdings auch oft genug mehr, als billig, nachlässig in der äusseren Form des Vortrages. Es ist keine Frage, dass einem guten Vortrage mit viel geringerer Anstrengung zu folgen ist, als einem schlechten, dass der Inhalt des ersteren sicherer und vollständiger aufgefasst wird, dass eine wohl geordnete, die springenden Punkte, wie die Abtheilungen deutlich heraushebende, die Gegenstände anschaulich erläuternde Darstellung in gleicher Zeit mehr Inhalt überliefern kann, als eine von den gegentheiligen Eigenschaften. Ich will also unserer oft zu weit getriebenen Verachtung der Form in Rede und Schrift keineswegs das Wort reden. Auch lässt sich nicht läugnen, dass häufig genug Männer von bedeutenden wissenschaftlichen Leistungen und geistiger Originalität einen recht holperigen, schwerfälligen und stockenden Vortrag haben. Dennoch habe ich nicht selten gesehen, dass Lehrer dieser Art zahlreiche und anhängliche Zuhörer hatten, während gedankenleere Redner bei der ersten Vorlesung Bewunderung, nach der zweiten Ermüdung erregten, nach der dritten verlassen waren. Wer seinen Zuhörern volle Ueberzeugung von der Richtigkeit seiner Sätze geben will, der muss vor allen Dingen aus eigener Erfahrung wissen, wie man Ueberzeugung gewinnt, und wie nicht. Er muss also für sich selbst solche zu erkämpfen gewusst haben, wo ihm noch kein Vorgänger zu Hilfe kam; das heisst, er muss an den Grenzen des menschlichen Wissens gearbeitet und ihm neue Gebiete gewonnen haben. Ein nur fremde Ueberzeugungen berichtender Lehrer genügt für Schüler, die auf Autorität als Quelle ihres Wissens angewiesen werden sollen, aber nicht für solche, die Begründung ihrer Ueberzeugung bis zu den letzten Fundamenten verlangen.

Sie sehen, meine Herren Commilitonen, hierin liegt wieder ein ehrenvolles Vertrauen, mit dem die Nation Ihnen entgegenkommt. Man schreibt Ihnen nicht bestimmte Curse und bestimmte

Digitized by Google

Lehrer vor. Man betrachtet Sie als Männer, deren freie Ueberzeugung zu gewinnen ist, die das Wesen vom Schein zu unterscheiden wissen werden, die man nicht mehr mit einer Berufung auf irgend welche Autorität beschwichtigen kann, und die sich auch so nicht mehr beschwichtigen lassen sollen. Auch ist immer besser dafür gesorgt worden, dass Sie selbst zu den Quellen des Wissens, soweit diese in Büchern und Denkmälern, oder in Versuchen und in Beobachtungen natürlicher Objecte und Vorgänge liegen, herantreten können. Selbst die kleineren deutschen Universitäten haben ihre eigenen Bibliotheken, Sammlungen von Gypsen u. s. w. Und in der Errichtung von Laboratorien für Chemie, Mikroskopie, Physiologie, Physik ist wiederum Deutschland den übrigen europäischen Ländern vorangegangen, welche erst jetzt nachzueifern beginnen. Auch an unserer Universität dürfen wir schon in den nächsten Wochen wieder die Eröffnung zweier neuer grosser, dem naturwissenschaftlichen Unterrichte gewidmeten Institute erwarten.

Die freie Ueberzeugung der Schüler ist nur zu gewinnen, wenn der freie Ausdruck der Ueberzeugung des Lehrers gesichert ist, die Lehrfreiheit. Diese ist nicht immer geschützt gewesen, in Deutschland ebenso wenig wie in den Nachbarländern. In Zeiten politischer und kirchlicher Kämpfe haben sich die herrschenden Parteien oft genug Eingriffe erlaubt; es ist dies von der deutschen Nation immer als ein Eingriff in ein Heiligthum empfunden worden. Die vorgeschrittene politische Freiheit des neuen Deutschen Reiches hat auch hierfür Heilung gebracht. In diesem Augenblicke können auf deutschen Universitäten die extremsten Consequenzen materialistischer Metaphysik, die kühnsten Speculationen auf dem Boden von Darwin's Evolutionstheorie ebenso ungehindert, wie die extremste Vergötterung päpstlicher Unfehlbarkeit vorgetragen werden. Wie auf der Tribüne der europäischen Parlamente bleiben allerdings Verdächtigungen der Motive, Schmähungen der persönlichen Eigenschaften der Gegner — beides Mittel, welche mit der Entscheidung wissenschaftlicher Sätze offenbar nichts zu thun haben — untersagt; ebenso jede Aufforderung zur Ausführung gesetzlich verbotener Handlungen. Aber es besteht kein Hinderniss, irgend welche wissenschaftliche Streitfrage wissenschaftlich zu discutiren. Auf englischen und französischen Universitäten ist von Lehrfreiheit in diesem Sinne nicht die Rede. Selbst am Collège de France sind und bleiben die Vorträge eines Mannes

Digitized by Google

von E. Renan's wissenschaftlicher Bedeutung und Ernste unter dem Interdict, und die Tutors der englischen Universitäten dürfen nicht um eines Haares Breite von dem dogmatischen System der englischen Kirche abweichen, ohne sich der Censur ihrer Erzbischöfe [1]) auszusetzen und ihre Schüler zu verlieren.

Noch über eine andere Seite unserer Lehrfreiheit habe ich zu sprechen. Das ist die Ausdehnung, die Deutschlands Universitäten in der Zulassung der Lehrer bewahrt haben. Nach dem ursprünglichen Sinne des Wortes ist Doctor ein „Lehrer", oder Jemand, dessen Fähigkeit als Lehrer anerkannt ist. An den mittelalterlichen Universitäten konnte jeder Doctor, der Schüler fand, auch als Lehrer auftreten. Der Lauf der Zeiten änderte die praktische Bedeutung des Titels. Die meisten, welche ihn erstrebten, beabsichtigten nicht als Lehrer zu wirken, sondern brauchten ihn nur als öffentliche Anerkennung ihrer wissenschaftlichen Bildung. Nur in Deutschland ist von diesem alten Rechte ein Theil stehen geblieben. Der veränderten Bedeutung des Doctortitels und der weiter gegangenen Specialisirung der Unterrichtsfächer entsprechend, wird allerdings von denjenigen Doctoren, die das Recht des Unterrichts ausüben wollen, noch ein besonderer Nachweis tiefer gehender wissenschaftlicher Leistungen in dem besonderen Fache, für welches sie sich habilitiren wollen, verlangt. Uebrigens ist an den meisten deutschen Universitäten die gesetzliche Berechtigung dieser habilitirten Doctoren, als Lehrer, genau dieselbe wie die der Ordinarien. An wenigen Orten sind einzelne beschränkende Bestimmungen für sie geltend, die kaum erhebliche praktische Tragweite haben. Nur in sofern sind die älteren Lehrer der Universität, namentlich die ordentlichen Professoren, thatsächlich begünstigt, als sie einerseits in denjenigen Fächern, welche äusseren Apparats für den Unterricht bedürfen, die freiere Verfügung über die Mittel der Staatsinstitute haben, andererseits ihnen gesetzlich die Abhaltung der Facultätsexamina, thatsächlich oft auch die der Staatsexamina zufällt. Dies übt natürlich einen gewissen Druck auf die schwächeren Gemüther unter den Studirenden. Uebrigens ist der Einfluss der Examina häufig übertrieben worden. Bei dem vielen Hin- und Herziehen unserer Studirenden findet eine grosse Zahl von

[1]) Diese Censur hat zwar keine amtliche aber eine sehr grosse gesellschaftliche Wirksamkeit.

Digitized by Google

Prüfungen vor solchen Examinatoren statt, bei denen die Examinanden niemals Vorlesungen gehört haben.

Ueber keine Seite unserer Universitätseinrichtungen pflegen Ausländer ihre Verwunderung so lebhaft auszusprechen, als über die Zuziehung der Privatdocenten. Man ist erstaunt und man beneidet uns darüber, dass eine so grosse Anzahl jüngerer Männer sich finden, welche ohne Gehalt, bei meist sehr unbedeutenden Honorareinnahmen und recht unsicheren Aussichten in die Zukunft, sich anstrengender wissenschaftlicher Arbeit widmen. Und indem man vom Standpunkt irdisch praktischer Interessen aus urtheilt, verwundert man sich ebenso, dass die Facultäten so leicht und bereitwillig eine so grosse Zahl junger Männer zulassen, die sich in jedem Augenblick aus Helfern in Concurrenten verwandeln können; so wie auch darüber, dass man nur in seltensten Ausnahmefällen von der Anwendung schlechter Concurrenzmittel in diesem einigermaassen delicaten Verhältnisse hört.

Wie die Zulassung der Privatdocenten hängt auch die Neubesetzung der erledigten Professuren, wenn auch nicht unbedingt und nicht in letzter Instanz, von der Facultät, d. h. der Versammlung der ordentlichen Professoren ab. Diese bilden an den deutschen Universitäten denjenigen Rest der ehemaligen Doctorencollegien, auf den die alten Corporationsrechte übergegangen sind. Sie bilden gleichsam einen, aber unter Mitwirkung der Regierungen constituirten, engeren Ausschuss der Graduirten der alten Zeit. Die üblichste Form für die Ernennung neuer Ordinarien ist die, dass die Facultät drei Candidaten der Regierung zur Wahl und Berufung vorschlägt, wobei die Regierungen sich freilich nicht unbedingt an die vorgeschlagenen Candidaten gebunden betrachten. Indessen haben Uebergehungen der Facultätsvorschläge im Ganzen zu den Seltenheiten gehört, Zeiten erhitzter Parteikämpfe abgerechnet. Wenn nicht sehr augenfällige Bedenken vorliegen, ist es für die ausführenden Beamten immerhin eine unangenehme persönliche Verantwortlichkeit, den Vorschlägen der sachverständigen Corporation entgegen einen Lehrer zu berufen, dessen Fähigkeiten sich öffentlich vor breiten Kreisen bewähren müssen.

Die Facultätsgenossen aber haben die stärksten Motive, für die Ausrüstung ihrer Facultät mit möglichst tüchtigen Lehrkräften zu sorgen. Um freudig für die Vorlesungen arbeiten zu können, ist das Bewusstsein, eine nicht zu kleine Anzahl intelligenter Zuhörer vor sich zu haben, die wesentlichste Bedingung.

Digitized by Google

Ausserdem ist für viele Lehrer ein erheblicher Bruchtheil ihres Einkommens von der Frequenz ihrer Zuhörer abhängig gemacht. Jeder Einzelne muss also wünschen, dass seine Facultät als Ganzes genommen möglichst viele und möglichst intelligente Studirende heranziehe. Das ist aber nur durch eine Auswahl möglichst tüchtiger Lehrer, seien es Professoren oder Docenten, zu erreichen. Andererseits kann auch das Bemühen, die Zuhörer zu kräftiger und selbständiger Arbeit anzuregen, Erfolg nur dann haben, wenn dasselbe auch von den anderen Facultätsgenossen unterstützt wird. Dazu kommt, dass das Zusammenwirken mit ausgezeichneten Collegen das Leben in den Universitätskreisen sehr interessant, belehrend und angeregt macht. Eine Facultät müsste schon sehr herunter gekommen sein, sie müsste nicht bloss das Gefühl ihrer Würde, sondern auch die gemeinste irdische Klugheit verloren haben, wenn neben diesen Motiven sich andere geltend machen könnten, und eine solche würde sich schnell ganz ruiniren.

Was das Gespenst der Rivalität zwischen den Universitätslehrern betrifft, mit dem man die öffentliche Meinung zuweilen zu schrecken sucht, so kann eine solche nicht zu Stande kommen, wenn die Lehrer und die Studirenden von rechter Art sind. Zunächst kommt es ja nur an grösseren Universitäten vor, dass ein und dasselbe Fach doppelt besetzt ist, und selbst wenn kein Unterschied in der amtlichen Definition des Faches besteht, so wird ein solcher zwischen den wissenschaftlichen Richtungen der Lehrer da sein, und sie werden sich in ihre Arbeit so theilen können, dass jeder die Seite vertritt, die er am besten beherrscht. Zwei ausgezeichnete Lehrer, die sich in solcher Weise ergänzen, bilden dann ein so starkes Anziehungscentrum für die Studirenden des Faches, dass beide keine Einbusse an Zuhörern erleiden, wenn sie auch in eine Anzahl der weniger eifrigen sich theilen müssen.

Allerdings werden aber unerfreuliche Wirkungen der Rivalität überall da zu fürchten sein, wo der eine oder andere der Lehrer sich in seiner wissenschaftlichen Stellung nicht ganz sicher fühlt. Auf die amtlichen Entscheidungen der Facultäten hat auch dies keinen erheblichen Einfluss, so lange es sich nur um Einen oder eine kleine Zahl der Stimmenden handelt.

Verhängnissvoller als solche persönliche Interessen kann die Herrschaft einer bestimmten wissenschaftlichen Schule über eine Facultät werden. Da muss man eben darauf rechnen, dass, wenn

Digitized by Google

diese Schule sich wissenschaftlich überlebt hat, die Studirenden sich allmälig anderen Universitäten zuwenden werden. Darüber kann allerdings ziemlich viel Zeit vergehen, und die betreffende Facultät für lange Zeit gelähmt werden.

Wie sehr die Universitäten unter diesem System die wissenschaftlichen Köpfe Deutschlands an sich zu ziehen im Stande waren, zeigt sich am besten, wenn man sich umsieht, wie viele bahnbrechende Männer ausserhalb der Universitäten übrig geblieben sind. Das Ergebniss einer solchen Umschau ergiebt sich schon daraus, dass gelegentlich darüber gescherzt oder gespottet werden kann, wie in Deutschland alle Wissenschaft Professorenweisheit sei. Blickt man auf England, so stösst man sogleich auf Männer, wie Humphrey Davy, Faraday, Darwin, Grote, welche keinerlei Verbindung mit englischen Universitäten gehabt haben. Wenn man dagegen von den deutschen Forschern diejenigen abzieht, welche von den Regierungen aus kirchlichen oder politischen Gründen fortgedrängt wurden, wie David Strauss, und diejenigen, welche als Mitglieder deutscher Akademien das Recht hatten, Vorlesungen an den Universitäten zu halten, wie Alexander und Wilhelm v. Humboldt, Leopold v. Buch u. a. m., so wird die Zahl der Uebrigbleibenden nur ein kleiner Bruchtheil sein von der Zahl derjenigen Männer gleichen wissenschaftlichen Gewichts, die an den Universitäten gewirkt haben, während die gleiche Zählung in England das entgegengesetzte Ergebniss liefern würde. Namentlich ist es mir immer auffallend gewesen, dass die Royal Institution in London, ein privater Verein, der kürzere Curse von Vorlesungen über Fortschritte in den Naturwissenschaften für seine Mitglieder und andere Erwachsene halten lässt, Männer von solcher wissenschaftlicher Bedeutung wie Humphrey Davy und Faraday als Vortragende dauernd an sich fesseln konnte. Von Aufwendung grosser Honorare war dabei gar keine Rede; offenbar waren diese Männer durch den aus geistig selbständigen Männern und Frauen bestehenden Zuhörerkreis angezogen. In Deutschland sind unverkennbar die Universitäten noch immer diejenigen Lehranstalten, welche die stärkste Anziehungskraft auch auf die Lehrenden ausüben. Es ist aber klar, dass auch diese Anziehungskraft darauf beruht, dass der Lehrer hoffen kann, an der Universität nicht nur gut vorbereitete, an Arbeit gewöhnte und begeisterungsfähige Zuhörer zu finden, sondern auch solche, die auf Bildung einer selbstständigen Ueberzeugung hingewiesen sind. Nur eine solche kann

Digitized by Google

die Erkenntniss des Lehrers auch im Schüler wieder fruchtbar machen.

So zieht sich durch die ganze Organisation unserer Universitäten diese Achtung vor der freien selbständigen Ueberzeugung, die den Deutschen fester eingeprägt ist als ihren arischen Verwandten romanischen und celtischen Stammes. Bei diesen wiegen politisch praktische Motive schwerer. Sie bringen es fertig, wie es scheint in aller Aufrichtigkeit, den forschenden Gedanken zurückzuhalten von der Untersuchung solcher Sätze, die ihnen als das nothwendige Fundament ihrer politischen, socialen und religiösen Organisation undiscutirbar erscheinen; sie finden es vollständig gerechtfertigt, ihre jungen Männer nicht über die Grenze hinausschauen zu lassen, die sie selbst nicht zu überschreiten Willens sind.

Will man aber irgend ein Gebiet von Fragen als undiscutirbar festhalten, sei es noch so fernliegend und eng begrenzt, sei die Absicht noch so wohlmeinend, so muss man die Lernenden auf vorgeschriebenem Wege festhalten und muss Lehrer anwenden, die sich gegen die Autorität nicht auflehnen. Dann kann von freier Ueberzeugung nur noch in bedingter Weise die Rede sein.

Sie sehen, wie unsere Altvorderen anders verfuhren. So gewaltsam sie gelegentlich auch gegen einzelne Ergebnisse des wissenschaftlichen Forschens eingeschritten sind, die Wurzel haben sie nicht abschneiden wollen; ein Meinen, welches nicht auf selbständiger Ueberzeugung beruhte, ist ihnen doch im Grunde werthlos erschienen. In ihrem innersten Herzen haben sie das Vertrauen nicht fallen lassen, dass die Freiheit allein die Missgriffe der Freiheit und das reifere Wissen die Irrthümer des unreiferen heben könne. Derselbe Sinn, welcher das Joch der römischen Kirche abwarf, hat auch die deutschen Universitäten organisirt.

Aber jede Institution, welche auf Freiheit gegründet ist, muss auch auf die Urtheilskraft und Vernunft derjenigen rechnen, denen man die Freiheit gewährt. Abgesehen von den schon früher erwähnten Punkten, wo auf das eigene Urtheil der Studirenden betreffs der Wahl ihres Studienganges und ihrer Lehrer gerechnet ist, zeigen die zuletzt angestellten Ueberlegungen, wie die Studirenden auch auf ihre Lehrer zurückwirken. Ein Colleg gut durchzuführen ist eine grosse Arbeit, die sich in jedem Semester erneuert. Fortdauernd kommt Neues hinzu, unter dessen

Einfluss auch das Alte aus neuen Gesichtspunkten zu betrachten und neu zu ordnen ist. Der Lehrer würde in dieser Arbeit bald entmuthigt sein, wenn ihm nicht der Eifer und das Interesse seiner Zuhörer entgegenkäme. Wie hoch er seine Aufgabe fassen kann, wird davon abhängen, wie weit ihm das Verständniss einer hinreichenden Anzahl wenigstens der intelligenteren Zuhörer nachkommt. Ja der Zudrang der Zuhörer zu den Vorlesungen eines Lehrers hat kein geringes Gewicht auch für Berufungen oder Beförderungen desselben, also auf die Zusammensetzung des Lehrerkreises. In allen diesen Beziehungen ist darauf gerechnet, dass der Gesammtstrom der öffentlichen Meinung unter den Studirenden nicht dauernd irre gehen könne. Die Majorität derselben, welche gleichsam der Träger des gemeinsamen Urtheils ist, muss mit hinreichend logisch geschultem Verstande, mit hinreichender Gewöhnung an geistige Anstrengung, mit einem an den besten Mustern genügend entwickelten Tact, um Wahrheit von dem phrasenhaften Schein der Wahrheit zu unterscheiden, zu uns kommen. Unter den Studirenden sind die intelligenten Köpfe, welche die geistigen Lenker der nächsten Generation sein und vielleicht schon in wenigen Jahren die Augen der Welt auf sich lenken werden, schon vorhanden. Diese sind es hauptsächlich, welche die öffentliche Meinung ihrer Commilitonen in wissenschaftlichen Dingen bestimmen, und nach denen sich die Anderen unwillkürlich richten. Zeitweilige Irrungen bei jugendlich unerfahrenen und erregbaren Gemüthern kommen natürlich vor; aber im Ganzen darf man ziemlich sicher darauf rechnen, dass sie bald immer wieder das Rechte zu finden wissen.

So haben die Gymnasien sie uns bisher gesendet. Es wäre sehr gefährlich für die Universitäten, wenn ihnen grosse Mengen von Schülern zuströmten, die in den genannten Beziehungen weniger entwickelt wären. Das allgemeine Standesbewusstsein der Studirenden darf nicht sinken. Wenn das geschähe, würden die Gefahren der akademischen Freiheit ihren Segen überwuchern. Man muss es also nicht als Pedanterie oder Hochmuth schelten, wenn die Universitäten bei der Zulassung von Schülern eines anderen Bildungsganges bedenklich sind. Noch gefährlicher freilich wäre es, wenn in die Facultäten aus irgend welchen äusseren Gründen Lehrer eingeschoben würden, die nicht die volle Qualification der wissenschaftlich selbständigen akademischen Lehrer haben.

Vergessen Sie also nicht, theure Commilitonen, dass Sie an einer verantwortlichen Stelle stehen. Das edle Vermächtniss, von

Digitized by Google

dem ich vorher schon sprach, haben Sie zu wahren nicht nur ihrem eigenen Volke, sondern auch als ein Vorbild weiten Kreisen der Menschheit. Sie sollen zeigen, dass auch die Jugend sich für die Selbständigkeit der Ueberzeugung zu begeistern und dafür zu arbeiten weiss. Ich sage arbeiten; denn Selbständigkeit der Ueberzeugung ist nicht leichtsinnige Annahme ungeprüfter Hypothesen, sondern kann nur als die Frucht gewissenhafter Prüfung und entschlossener Arbeit errungen werden. Sie sollen zeigen, dass die selbst erarbeitete Ueberzeugung ein fruchtbarerer Keim neuer Einsicht und eine bessere Richtschnur des Handelns ist, als die wohlmeinendste Leitung durch Autorität. Deutschland, welches im 16. Jahrhundert zuerst für das Recht solcher Ueberzeugung aufgestanden ist und dafür als Blutzeuge gelitten hat, steht noch im Vorrang dieses Kampfes. Ihm ist eine erhabene weltgeschichtliche Aufgabe zugefallen, und Sie sind jetzt berufen, daran mitzuarbeiten.

Digitized by Google

DIE

'HATSACHEN IN DER WAHRNEHMUNG.

Rede

gehalten zur Stiftungsfeier der Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Berlin am 3. August 1878,

überarbeitet und mit Zusätzen versehen.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

Wir feiern heut das Stiftungsfest unserer Universität an dem Jahrestage der Geburt ihres Stifters, des vielgeprüften Königs Friedrich Wilhelm III. Das Jahr dieser Stiftung 1810 fiel in die Zeit der grössten äusseren Bedrängniss unseres Staates; ein erheblicher Theil des Gebietes war verloren, das Land durch den vorausgegangenen Krieg und die feindliche Besetzung tief erschöpft; der kriegerische Stolz, der ihm aus den Zeiten des grossen Kurfürsten und des grossen Königs geblieben, war tief gedemüthigt. Und doch erscheint uns jetzt, wenn wir rückwärts blicken, dieselbe Zeit so reich an Gütern geistiger Art, an Begeisterung, Energie, idealen Hoffnungen und schöpferischen Gedanken, dass wir trotz der verhältnissmässig glänzenden äusseren Lage, in der Staat und Nation sich befinden, fast mit Neid auf jene Periode zurücksehen möchten. Dass der König in der bedrängten Lage vor anderen materiellen Anforderungen zunächst an die Gründung der Universität dachte, dass er dann Thron und Leben auf das Spiel setzte, um sich der entschlossenen Begeisterung der Nation im Kampfe gegen den Ueberwinder anzuvertrauen, zeigt, wie tief auch bei ihm, dem schlichten, lebhaften Gefühlsäusserungen abgeneigten Manne, das Vertrauen auf die geistigen Kräfte seines Volkes wirkte.

Eine stattliche Reihe ruhmwürdiger Namen hatte Deutschland damals in der Kunst, wie in der Wissenschaft aufzuweisen, Namen, deren Träger in der Geschichte menschlicher Geistesbildung zum Theil mit zu den Ersten aller Zeiten und Völker zu zählen sind.

Es lebte Göthe und lebte Beethoven; Schiller, Kant, Herder und Haydn hatten noch die ersten Jahre des Jahrhunderts erlebt. Wilhelm von Humboldt entwarf die neue Wissenschaft der vergleichenden Sprachkunde, Niebuhr, Fr. Aug. Wolf, Savigny lehrten alte Geschichte, Poesie und Recht mit lebendigem Verständniss durchdringen, Schleiermacher

Digitized by Google

suchte den geistigen Inhalt der Religion tiefsinnig zu erfassen und Joh. Gottlieb Fichte, der zweite Rector unserer Universität, der gewaltige unerschrockene Redner, riss seine Zuhörerschaft fort durch den Strom seiner sittlichen Begeisterung und den kühnen Gedankenflug seines Idealismus.

Selbst die Abirrungen dieser Sinnesweise, die sich in den leicht erkennbaren Schwächen der Romantik aussprechen, haben etwas Anziehendes dem trocken rechnenden Egoismus gegenüber. Man bewunderte sich selbst in den schönen Gefühlen, in denen man zu schwelgen wusste; man suchte die Kunst, solche Gefühle zu haben, auszubilden; man glaubte die Phantasie um so mehr als schöpferische Kraft bewundern zu dürfen, je mehr sie sich von den Regeln des Verstandes losgemacht hatte. Darin steckte viel Eitelkeit, aber immerhin war es Eitelkeit, die für hohe Ideale schwärmte.

Die Aelteren unter uns haben noch die Männer jener Periode gekannt, die einst als die ersten Freiwilligen in das Heer traten, stets bereit, sich in die Erörterung metaphysischer Probleme zu versenken, wohlbelesen in den Werken der grossen Dichter Deutschlands, noch glühend von Zorn, wenn vom ersten Napoleon, von Begeisterung und Stolz, wenn von den Thaten des Befreiungskrieges die Rede war.

Wie ist es anders geworden! Das mögen wir wohl erstaunt ausrufen in einer Zeit, wo sich die cynische Verachtung aller idealen Güter des Menschengeschlechts auf den Strassen und in der Presse breit macht, und in zwei scheusslichen Verbrechen gegipfelt hat, welche das Haupt unseres Kaisers offenbar nur deshalb zu ihrem Ziele wählten, weil in ihm sich Alles vereinigte, was die Menschheit bisher als würdig der Verehrung und der Dankbarkeit betrachtet hat.

Fast mit Mühe müssen wir uns daran erinnern, dass erst acht Jahre verflossen sind seit der grossen Stunde, wo alle Stände unseres Volkes auf den Ruf desselben Monarchen ohne Zaudern, voll opferfreudiger und begeisterter Vaterlandsliebe in einen gefährlichen Krieg zogen gegen einen Gegner, dessen Macht und Tapferkeit uns nicht unbekannt war. Fast mit Mühe müssen wir des breiten Spielraums gedenken, den die politischen und humanen Bestrebungen, auch den ärmeren Ständen unseres Volkes ein sorgenfreieres und menschenwürdigeres Dasein zu bereiten, in der Thätigkeit und den Gedanken der gebildeten Classen ein-

Digitized by Google

genommen haben, daran denken, wie sehr ihr Loos in materieller und rechtlicher Beziehung wirklich gebessert ist.

Es scheint die Art der Menschheit einmal zu sein, dass neben viel Licht immer viel Schatten zu finden ist; und politische Freiheit giebt zunächst den gemeinen Motiven mehr Schrankenlosigkeit sich zu zeigen und sich gegenseitig Muth zu machen, so lange ihnen nicht eine zu energischem Widerspruch gerüstete öffentliche Meinung gegenübersteht. Auch in den Jahren vor dem Befreiungskriege, als Fichte seinem Zeitalter Busspredigten hielt, fehlten diese Elemente nicht. Er schildert Zustände und Gesinnungen als herrschend, die an die schlimmsten unserer Zeit erinnern. „Das gegenwärtige Zeitalter stellt in seinem Grundprincip sich hin hochmüthig herabsehend auf diejenigen, die durch einen Traum von Tugend sich Genüsse entwinden lassen, und seiner sich freuend, dass es über solche Dinge hinweg sei, und in dieser Weise sich nichts aufbinden lasse“ [1]. Die einzige Freude, die über das rein Sinnliche hinausgehe, welche den Repräsentanten des Zeitalters bekannt sei, nennt er „das Laben an der eigenen Pfiffigkeit“. Und doch bereitete sich in dieser selben Zeit ein mächtiger Aufschwung vor, der zu den ruhmreichsten Ereignissen unserer Geschichte gehört.

Wenn wir also unsere Zeit auch nicht für hoffnungslos verloren zu halten brauchen, so dürfen wir uns doch nicht allzu leichtfertig mit dem Troste beruhigen, dass es in anderen Zeiten eben nicht besser war als jetzt. Immerhin ist es rathsam, dass bei so bedenklichen Vorgängen ein Jeder in dem Kreise, in dem er zu arbeiten hat und den er kennt, Umschau halte, wie es mit der Arbeit für die ewigen Ziele der Menschheit bestellt ist, ob sie im Auge gehalten werden, ob man sich ihnen genähert habe. Im Jugendzeitalter unserer Universität war auch die Wissenschaft jugendlich kühn und hoffnungskräftig, ihr Auge war vorzugsweise den höchsten Zielen zugewendet. Wenn diese nun auch nicht so leicht zu erreichen waren, wie jene Generation hoffte, wenn sich auch zeigte, dass weitläuftige Einzelarbeit den Weg dahin vorbereiten musste, und somit durch die Natur der Aufgaben selbst zunächst eine andere weniger enthusiastische, weniger unmittelbar den idealen Zielen zugewendete Art der Arbeit gefordert wurde, so wäre es doch zweifellos ein Verderben, wenn unsere Generation über den untergeordneten und praktisch nützlichen

---

[1]) Fichte's Werke VII, S. 40.

Aufgaben die ewigen Ideale der Menschheit aus dem Auge verloren haben sollte.

Das Grundproblem, welches jene Zeit an den Anfang aller Wissenschaft stellte, war das der Erkenntnisstheorie: „Was ist Wahrheit in unserem Anschauen und Denken? in welchem Sinne entsprechen unsere Vorstellungen der Wirklichkeit?“ Auf dieses Problem stossen Philosophie und Naturwissenschaft von zwei entgegengesetzten Seiten; es ist eine gemeinsame Aufgabe beider. Die erstere, welche die geistige Seite betrachtet, sucht aus unserem Wissen und Vorstellen auszuscheiden, was aus den Einwirkungen der Körperwelt herrührt, um rein hinzustellen, was der eigenen Thätigkeit des Geistes angehört. Die Naturwissenschaft im Gegentheil sucht abzuscheiden, was Definition, Bezeichnung, Vorstellungsform, Hypothese ist, um rein übrig zu behalten, was der Welt der Wirklichkeit angehört, deren Gesetze sie sucht. Beide suchen dieselbe Scheidung zu vollziehen, wenn auch jede für einen anderen Theil des Geschiedenen interessirt ist. In der Theorie der Sinneswahrnehmungen und in den Untersuchungen über die Grundprincipien der Geometrie, Mechanik, Physik kann auch der Naturforscher diesen Fragen nicht aus dem Wege gehen. Da meine eigenen Arbeiten vielfach in beide Gebiete eingetreten sind, so will ich versuchen, Ihnen einen Ueberblick von dem zu geben, was von Seiten der Naturforschung in dieser Richtung gethan ist. Natürlich sind schliesslich die Gesetze des Denkens bei den naturforschenden Menschen keine anderen als bei den philosophirenden. In allen Fällen, wo die Thatsachen der täglichen Erfahrung, deren Fülle doch schon sehr gross ist, hinreichten, um einem scharfsinnigen Denker von unbefangenem Wahrheitsgefühl einigermaassen genügendes Material für ein richtiges Urtheil zu geben, muss der Naturforscher sich damit begnügen anzuerkennen, dass die methodisch vollendete Sammlung der Erfahrungsthatsachen das früher gewonnene Resultat einfach bestätigt. Aber es kommen auch gegentheilige Fälle vor. Dies als Entschuldigung dafür, — wenn es entschuldigt werden muss, — dass im Folgenden nicht überall neue, sondern grossentheils längst gegebene Antworten auf die betreffenden Fragen wieder gegeben werden. Oft genug gewinnt ja auch ein alter Begriff, an neuen Thatsachen gemessen, eine lebhaftere Beleuchtung und ein neues Ansehen.

Kurz vor dem Beginn des neuen Jahrhunderts hatte Kant die Lehre von den vor aller Erfahrung gegebenen, oder wie er

Digitized by Google

sie deshalb nannte, „transcendentalen“ Formen des Anschauens und Denkens ausgebildet, in welche aller Inhalt unseres Vorstellens nothwendig aufgenommen werden muss, wenn er zur Vorstellung werden soll. Für die Qualitäten der Empfindung hatte schon Locke den Antheil geltend gemacht, den unsere körperliche und geistige Organisation an der Art hat, wie die Dinge uns erscheinen. In dieser Richtung nun haben die Untersuchungen über die Physiologie der Sinne, welche namentlich Johannes Müller vervollständigte, kritisch sichtete und dann in das Gesetz von den specifischen Energien der Sinnesnerven zusammenfasste, die vollste Bestätigung, man kann fast sagen in einem unerwarteten Grade, gebracht und dadurch zugleich das Wesen und die Bedeutung einer solchen von vorn herein gegebenen, subjectiven Form des Empfindens in sehr entscheidender und greifbarer Weise dargelegt und anschaulich gemacht. Dieses Thema ist schon oft besprochen worden; ich kann mich deshalb heut darüber kurz fassen.

Zwischen den Sinnesempfindungen verschiedener Art kommen zwei verschiedene Grade des Unterschieds vor. Der am tiefsten eingreifende ist der Unterschied zwischen Empfindungen, die verschiedenen Sinnen angehören, wie zwischen blau, süss, warm, hochtönend; ich habe mir erlaubt, diesen als Unterschied in der Modalität der Empfindung zu bezeichnen. Er ist so eingreifend, dass er jeden Uebergang vom einen zum andern, jedes Verhältniss grösserer oder geringerer Aehnlichkeit ausschliesst. Ob z. B. Süss dem Blau oder Roth ähnlicher sei, kann man gar nicht fragen. Die zweite Art des Unterschieds dagegen, die minder eingreifende, ist die zwischen verschiedenen Empfindungen desselben Sinnes; ich beschränke auf ihn die Bezeichnung eines Unterschiedes der Qualität. J. G. Fichte fasst diese Qualitäten je eines Sinnes zusammen als Qualitätenkreis, und bezeichnet, was ich eben Unterschied der Modalität nannte, als Unterschied der Qualitätenkreise. Innerhalb jedes solchen Kreises ist Uebergang und Vergleichung möglich. Von Blau können wir durch Violett und Carminroth in Scharlachroth übergehen, und z. B. aussagen, dass Gelb dem Orangeroth ähnlicher sei als dem Blau. Die physiologischen Untersuchungen lehren nun, dass jener tief eingreifende Unterschied ganz und gar nicht abhängt von der Art des äusseren Eindrucks, durch den die Empfindung erregt ist, sondern ganz allein und ausschliesslich bestimmt wird durch den Sinnesnerven, der von dem Eindrucke

getroffen worden ist. Erregung des Sehnerven erzeugt nur Lichtempfindungen, ob er nun von objectivem Licht, d. h. von Aetherschwingungen, getroffen werde oder von elektrischen Strömen, die man durch das Auge leitet, oder von Druck auf den Augapfel, oder von Zerrung des Nervenstammes bei schneller Bewegung des Blickes. Die Empfindung, die bei den letzteren Einwirkungen entsteht, ist der des objectiven Lichtes so ähnlich, dass man lange Zeit an eine wirkliche Lichtentwickelung im Auge geglaubt hat. J. Müller zeigte, dass eine solche durchaus nicht stattfinde, dass eben nur die Empfindung des Lichtes da sei, weil der Sehnerv erregt werde.

Wie nun einerseits jeder Sinnesnerv, durch die mannigfachsten Einwirkungen erregt, immer nur Empfindungen aus dem ihm eigenthümlichen Qualitätenkreise giebt: so erzeugen andererseits dieselben äusseren Einwirkungen, wenn sie verschiedene Sinnesnerven treffen, die verschiedenartigsten Empfindungen, diese immer entnommen aus dem Qualitätenkreise des betreffenden Nerven. Dieselben Aetherschwingungen, welche das Auge als Licht fühlt, fühlt die Haut als Wärme. Dieselben Luftschwingungen, welche die Haut als Schwirren fühlt, fühlt das Ohr als Ton. Hier ist wiederum die Verschiedenartigkeit des Eindruckes so gross, dass die Physiker sich bei der Vorstellung, Agentien, die so verschieden erschienen wie Licht und strahlende Wärme, seien gleichartig und zum Theil identisch, erst beruhigten, nachdem durch mühsame Experimentaluntersuchungen nach allen Richtungen hin die vollständige Gleichartigkeit ihres physikalischen Verhaltens festgestellt war.

Aber auch innerhalb des Qualitätenkreises jedes einzelnen Sinnes, wo die Art des einwirkenden Objects die Qualität der erzeugten Empfindung wenigstens mitbestimmt, kommen noch die unerwartetsten Incongruenzen vor. Lehrreich ist in dieser Beziehung die Vergleichung von Auge und Ohr, da die Objecte beider, Licht und Schall, schwingende Bewegungen sind, die je nach der Schnelligkeit ihrer Schwingungen verschiedene Empfindungen erregen, im Auge verschiedener Farben, im Ohr verschiedener Tonhöhen. Wenn wir uns zur grösseren Uebersichtlichkeit erlauben, die Schwingungsverhältnisse des Lichtes mit den Namen der durch entsprechende Tonschwingungen gebildeten musikalischen Intervalle zu bezeichnen, so ergiebt sich Folgendes: Das Ohr empfindet etwa 10 Octaven verschiedener Töne, das Auge nur eine Sexte, obgleich die jenseits dieser Grenzen liegen-

Digitized by Google

den Schwingungen beim Schall wie beim Lichte vorkommen und physikalisch nachgewiesen werden können. Das Auge hat nur drei von einander verschiedene Grundempfindungen in seiner kurzen Scala, aus denen sich alle seine Qualitäten durch Addition zusammensetzen, nämlich Roth, Grün, Blauviolett. Diese mischen sich in der Empfindung ohne sich zu stören. Das Ohr dagegen unterscheidet eine ungeheure Zahl von Tönen verschiedener Höhe. Kein Accord klingt gleich einem anderen Accorde, der aus anderen Tönen zusammengesetzt ist, während doch beim Auge gerade das Analoge der Fall ist; denn gleich aussehendes Weiss kann hervorgebracht werden durch Roth und Grünblau des Spectrum, durch Gelb und Ultramarinblau, durch Grüngelb und Violett, durch Grün, Roth und Violett, oder durch je zwei, drei oder alle diese Mischungen zusammen. Wären im Ohre die Verhältnisse die gleichen, so wäre gleichtönend der Zusammenklang C und F mit D und G, mit E und A, oder mit C, D, E, F, G, A u. s. w. Und, was in Bezug auf die objective Bedeutung der Farbe bemerkenswerth ist: ausser der Wirkung auf das Auge hat noch keine einzige physikalische Beziehung aufgefunden werden können, in der gleich aussehendes Licht regelmässig gleichwerthig wäre. Endlich hängt die ganze Grundlage der musikalischen Wirkung der Consonanz und Dissonanz von dem eigenthümlichen Phänomen der Schwebungen ab. Diese beruhen auf einem schnellen Wechsel in der Intensität des Tones, welcher dadurch entsteht, dass zwei nahe gleich hohe Töne abwechselnd mit gleichen und entgegengesetzten Phasen zusammen wirken, und dem gemäss bald starke, bald schwache Schwingungen der mitschwingenden Körper erregen. Das physikalische Phänomen würde beim Zusammenwirken zweier Lichtwellenzüge ganz ebenso vorkommen können, wie beim Zusammenwirken zweier Tonwellenzüge. Aber der Nerv muss erstens fähig sein, von beiden Wellenzügen afficirt zu werden, und zweitens muss er dem Wechsel von starker und schwacher Intensität schnell genug folgen können. In letzterer Beziehung ist der Gehörnerv dem Sehnerven erheblich überlegen. Gleichzeitig ist jede Faser des Hörnerven nur für Töne aus einem engen Intervall der Scala empfindlich, so dass nur ganz nahe gelegene Töne in ihr überhaupt zusammen wirken können, weit von einander entfernte nicht oder nicht unmittelbar. Wenn sie es thun, so rührt dies von begleitenden Obertönen oder Combinationstönen her. Daher tritt beim Ohr dieser Unterschied von schwirrendem und nicht schwirrendem Intervalle, d. h. von Con-

Digitized by Google

sonanz und Dissonanz ein. Jede Sehnervenfaser dagegen empfindet durch das ganze Spectrum, wenn auch verschieden stark in verschiedenen Theilen. Könnte der Sehnerv überhaupt den ungeheuer schnellen Schwebungen der Lichtoscillationen in der Empfindung folgen, so würde jede Mischfarbe als Dissonanz wirken.

Sie sehen, wie alle diese Unterschiede in der Wirkungsweise von Licht und Ton durch die Art, wie der Nervenapparat gegen sie reagirt, bedingt sind.

Unsere Empfindungen sind eben Wirkungen, welche durch äussere Ursachen in unseren Organen hervorgebracht werden, und wie eine solche Wirkung sich äussert, hängt natürlich ganz wesentlich von der Art des Apparats ab, auf den gewirkt wird. Insofern die Qualität unserer Empfindung uns von der Eigenthümlichkeit der äusseren Einwirkung, durch welche sie erregt ist, eine Nachricht giebt, kann sie als ein Zeichen derselben gelten, aber nicht als ein Abbild. Denn vom Bilde verlangt man irgend eine Art der Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstande, von einer Statue Gleichheit der Form, von einer Zeichnung Gleichheit der perspectivischen Projection im Gesichtsfelde, von einem Gemälde auch noch Gleichheit der Farben. Ein Zeichen aber braucht gar keine Art der Aehnlichkeit mit dem zu haben, dessen Zeichen es ist. Die Beziehung zwischen beiden beschränkt sich darauf, dass das gleiche Object, unter gleichen Umständen zur Einwirkung kommend, das gleiche Zeichen hervorruft, und dass also ungleiche Zeichen immer ungleicher Einwirkung entsprechen.

Der populären Meinung gegenüber, welche auf Treu und Glauben die volle Wahrheit der Bilder annimmt, die uns unsere Sinne von den Dingen liefern, mag dieser Rest von Aehnlichkeit, den wir anerkennen, sehr geringfügig erscheinen. In Wahrheit ist er es nicht; denn mit ihm kann noch eine Sache von der allergrössesten Tragweite geleistet werden, nämlich die Abbildung der Gesetzmässigkeit in den Vorgängen der wirklichen Welt. Jedes Naturgesetz sagt aus, dass auf Vorbedingungen, die in gewisser Beziehung gleich sind, immer Folgen eintreten, die in gewisser anderer Beziehung gleich sind. Da Gleiches in unserer Empfindungswelt durch gleiche Zeichen angezeigt wird, so wird der naturgesetzlichen Folge gleicher Wirkungen auf gleiche Ursachen, auch eine ebenso regelmässige Folge im Gebiete unserer Empfindungen entsprechen.

Digitized by Google

Wenn Beeren einer gewissen Art beim Reifen zugleich rothes Pigment und Zucker ausbilden, so werden in unserer Empfindung bei Beeren dieser Form rothe Farbe und süsser Geschmack sich immer zusammen finden.

Wenn also unsere Sinnesempfindungen in ihrer Qualität auch nur Zeichen sind, deren besondere Art ganz von unserer Organisation abhängt, so sind sie doch nicht als leerer Schein zu verwerfen, sondern sie sind eben Zeichen von Etwas, sei es etwas Bestehendem oder Geschehendem, und was das Wichtigste ist, das Gesetz dieses Geschehens können sie uns abbilden.

Die Qualitäten der Empfindung also erkennt auch die Physiologie als blosse Form der Anschauung an. Kant aber ging weiter. Nicht nur die Qualitäten der Sinnesempfindungen sprach er als gegeben durch die Eigenthümlichkeiten unseres Anschauungsvermögens an, sondern auch Zeit und Raum, da wir nichts in der Aussenwelt wahrnehmen können, ohne dass es zu einer bestimmten Zeit geschieht und an einen bestimmten Ort gesetzt wird; die Zeitbestimmung kommt sogar auch jeder innerlichen Wahrnehmung zu. Er bezeichnete deshalb die Zeit als die gegebene und nothwendige, transcendentale Form der inneren, den Raum als die entsprechende der äusseren Anschauung. Auch die räumlichen Bestimmungen also betrachtet Kant für ebensowenig der Welt des Wirklichen, oder „dem Dinge an sich" angehörig, wie die Farben, die wir sehen, den Körpern an sich zukommen, sondern durch unser Auge in sie hineingetragen sind. Selbst hier wird die naturwissenschaftliche Betrachtung bis zu einer gewissen Grenze mitgehen können. Wenn wir nämlich fragen, ob es ein gemeinsames und in unmittelbarer Empfindung wahrnehmbares Kennzeichen giebt, durch welches sich für uns jede auf Gegenstände im Raum bezügliche Wahrnehmung charakterisirt: so finden wir in der That ein solches in dem Umstande, dass Bewegung unseres Körpers uns in andere räumliche Beziehungen zu den wahrgenommenen Objecten setzt, und dadurch auch den Eindruck, den sie auf uns machen, verändert. Der Impuls zur Bewegung aber, den wir durch Innervation unserer motorischen Nerven geben, ist etwas unmittelbar Wahrnehmbares. Dass wir etwas thun, indem wir einen solchen Impuls geben, fühlen wir. Was wir thun, wissen wir nicht unmittelbar. Dass wir die motorischen Nerven in Erregungszustand versetzen oder innerviren, dass deren Reizung auf die Muskeln übergeleitet wird, diese sich in Folge dessen

Digitized by Google

zusammenziehen und die Glieder bewegen, lehrt uns erst die Physiologie. Wiederum aber wissen wir auch ohne wissenschaftliches Studium, welche wahrnehmbare Wirkung jeder verschiedenen Innervation folgt, die wir einzuleiten im Stande sind. Dass wir dies durch häufig wiederholte Versuche und Beobachtungen lernen, ist in einer grossen Reihe von Fällen sicher nachweisbar. Wir können noch im erwachsenen Alter lernen, die Innervationen zu finden, die zum Aussprechen der Buchstaben einer fremden Sprache oder für eine besondere Art der Stimmbildung beim Singen nöthig sind; wir können Innervationen lernen, um die Ohren zu bewegen, um mit den Augen einwärts oder auswärts, selbst auf- und abwärts zu schielen u. s. w. Die Schwierigkeit dergleichen zu vollführen besteht nur darin, dass wir durch Versuche die noch unbekannten Innervationen zu finden suchen müssen, die zu solchen bisher nicht ausgeführten Bewegungen nöthig sind. Uebrigens wissen wir selbst von diesen Impulsen unter keiner anderen Form und durch kein anderes definirbares Merkmal, als dadurch, dass sie eben die beabsichtigte beobachtbare Wirkung hervorbringen; diese letztere dient also auch allein zur Unterscheidung der verschiedenen Impulse in unserem eigenen Vorstellen.

Wenn wir nun Impulse solcher Art geben (den Blick wenden, die Hände bewegen, hin und hergehen), so finden wir, dass dadurch die gewissen Qualitätenkreisen angehörigen Empfindungen (nämlich die auf räumliche Objecte bezüglichen) geändert werden können; andere psychische Zustände, deren wir uns bewusst sind, Erinnerungen, Absichten, Wünsche, Stimmungen durchaus nicht. Dadurch ist in unmittelbarer Wahrnehmung ein durchgreifender Unterschied zwischen den ersteren und letzteren gesetzt. Wenn wir also dasjenige Verhältniss, welches wir durch unsere Willensimpulse unmittelbar ändern, dessen Art uns übrigens noch ganz unbekannt sein könnte, ein räumliches nennen wollen, so treten die Wahrnehmungen psychischer Thätigkeiten gar nicht in ein solches ein; wohl aber müssen alle Empfindungen der äusseren Sinne unter irgend welcher Art der Innervation vor sich gehen, d. h. räumlich bestimmt sein. Demnach wird uns der Raum auch sinnlich erscheinen behaftet mit den Qualitäten unserer Bewegungsempfindungen, als das, durch welches hin wir uns bewegen, durch welches hin wir blicken können. Die Raumanschauung würde also in diesem Sinne eine subjective Anschauungsform sein, wie die Empfindungsqualitäten Roth,

Digitized by Google

Süss, Kalt. Natürlich würde dies für jene ebenso wenig wie für diese, den Sinn haben, dass die Ortsbestimmung eines bestimmten einzelnen Gegenstandes ein blosser Schein sei.

Als die nothwendige Form der äusseren Anschauung aber würde der Raum von diesem Standpunkte aus erscheinen, weil wir eben das, was wir als räumlich bestimmt wahrnehmen, als Aussenwelt zusammenfassen. Dasjenige, an dem keine Raumbeziehung wahrzunehmen ist, begreifen wir als die Welt der inneren Anschauung, als die Welt des Selbstbewusstseins.

Und eine gegebene, vor aller Erfahrung mitgebrachte Form der Anschauung würde der Raum sein, insofern seine Wahrnehmung an die Möglichkeit motorischer Willensimpulse geknüpft wäre, für die uns die geistige und körperliche Fähigkeit durch unsere Organisation gegeben sein muss, ehe wir Raumanschauung haben können.

Darüber, dass das von uns besprochene Kennzeichen der Veränderung bei Bewegung allen auf räumliche Objecte bezüglichen Wahrnehmungen zukommt, wird nicht wohl ein Zweifel sein können[1]. Es wird dagegen die Frage zu beantworten sein, ob nun aus dieser Quelle alle eigenthümlichen Bestimmungen unserer Raumanschauung herzuleiten sind. Zu dem Ende müssen wir überlegen, was mit den bisher besprochenen Hilfsmitteln des Wahrnehmens sich erreichen lässt.

Suchen wir uns daher auf den Standpunkt eines Menschen ohne alle Erfahrung zurückzuversetzen. Um ohne Raumanschauung zu beginnen, müssen wir annehmen, dass derselbe auch die Wirkungen seiner Innervationen nicht weiter kenne, als insofern er gelernt habe, wie er durch Nachlass einer ersten Innervation oder durch Ausführung eines zweiten Gegenimpulses sich in den Zustand wieder zurückversetzen könne, aus dem er durch den ersten Impuls sich entfernt hat. Da dieses gegenseitige Sichaufheben verschiedener Innervationen ganz unabhängig ist von dem, was dabei wahrgenommen wird: so kann der Beobachter finden, wie er das zu machen hat, ohne noch irgend ein Verständniss der Aussenwelt vorher erlangt zu haben.

Ein solcher Beobachter befinde sich zunächst einmal einer Umgebung von ruhenden Objecten gegenüber. Dies wird sich ihm erstens dadurch zu erkennen geben, dass, so lange er keinen

---

[1]) Ueber die Localisation der Empfindungen innerer Organe siehe Beilage I am Schluss dieser Abhandlung.

Digitized by Google

motorischen Impuls giebt, seine Empfindungen unverändert bleiben. Giebt er einen solchen (bewegt er zum Beispiel die Augen oder die Hände, schreitet er fort), so ändern sich die Empfindungen; und kehrt er dann durch Nachlass oder den zugehörigen Gegenimpuls in den früheren Zustand zurück, so werden sämmtliche Empfindungen wieder die früheren.

Nennen wir die ganze Gruppe von Empfindungsaggregaten, welche während der besprochenen Zeitperiode durch eine gewisse bestimmte und begrenzte Gruppe von Willensimpulsen herbeizuführen sind, die zeitweiligen Präsentabilien, dagegen präsent dasjenige Empfindungsaggregat aus dieser Gruppe, was gerade zur Perception kommt: so ist unser Beobachter zur Zeit an einen gewissen Kreis von Präsentabilien gebunden, aus dem er aber jedes Einzelne in jedem ihm beliebigen Augenblicke durch Ausführung der betreffenden Bewegung präsent machen kann. Dadurch erscheint ihm jedes Einzelne aus dieser Gruppe der Präsentabilien als bestehend in jedem Augenblick dieser Zeitperiode. Er hat es beobachtet in jedem einzelnen Augenblicke, wo er es gewollt hat. Die Behauptung, dass er es auch in jedem anderen zwischenliegenden Augenblicke würde haben beobachten können, wo er es gewollt haben würde, ist als ein Inductionsschluss anzusehen, der von jedem Augenblick eines gelungenen Versuches auf jeden Augenblick der betreffenden Zeitperiode schlechthin gezogen wird. So wird also die Vorstellung von einem dauernden Bestehen von Verschiedenem gleichzeitig neben einander gewonnen werden können. Das „Neben einander“ ist eine Raumbezeichnung; aber sie ist gerechtfertigt, da wir das durch Willensimpulse geänderte Verhältniss als „räumlich“ definirt haben. Bei dem, was da als neben einander bestehend gesetzt wird, braucht man noch nicht an substantielle Dinge zu denken. „Rechts ist es hell, links ist es dunkel; vorn ist Widerstand, hinten nicht“, könnte zum Beispiel auf dieser Erkenntnissstufe gesagt werden, wobei das Rechts und Links nur Namen für bestimmte Augenbewegungen, Vorn und Hinten für bestimmte Handbewegungen sind.

Zu anderen Zeiten nun ist der Kreis der Präsentabilien für dieselbe Gruppe von Willensimpulsen ein anderer geworden. Dadurch tritt uns dieser Kreis mit dem Einzelnen, was er enthält, als ein Gegebenes, ein „objectum“ entgegen. Es scheiden sich diejenigen Veränderungen, die wir durch bewusste Willensimpulse hervorbringen und rückgängig machen können, von

Digitized by Google

solchen, die nicht Folge von Willensimpulsen sind und durch solche nicht beseitigt werden können. Die letztere Bestimmung ist negativ. Fichte's passender Ausdruck dafür ist, dass sich ein „Nicht-Ich“ dem „Ich“ gegenüber Anerkennung erzwingt.

Wenn wir nach den empirischen Bedingungen fragen, unter denen die Raumanschauung sich ausbildet, so müssen wir bei diesen Ueberlegungen hauptsächlich auf den Tastsinn Rücksicht nehmen, da Blinde ohne Hilfe des Gesichts die Raumanschauung vollständig ausbilden können. Wenn auch die Ausfüllung des Raumes mit Objecten für sie weniger reich und fein ausfallen wird, als für Sehende: so erscheint es doch im höchsten Grade unwahrscheinlich, dass die Grundlagen der Raumanschauung bei beiden Classen von Menschen gänzlich verschieden sein sollten. Versuchen wir selbst im Dunkeln oder mit geschlossenen Augen tastend zu beobachten: so können wir sehr wohl mit einem Finger, selbst mit einem in der Hand gehaltenen Stifte, wie der Chirurg mit der Sonde, tasten und doch die Körperform des vorliegenden Objects fein und sicher ermitteln. Gewöhnlich betasten wir grössere Gegenstände, wenn wir uns im Dunkeln zurechtfinden wollen, mit fünf oder zehn Fingerspitzen gleichzeitig. Wir bekommen dann fünf- bis zehnmal so viel Nachrichten in gleicher Zeit als mit einem Finger, und brauchen die Finger auch zu Grössenmessungen an den Objecten wie die Spitzen eines geöffneten Zirkels. Jedenfalls tritt beim Tasten der Umstand, dass wir eine ausgebreitete empfindende Hautfläche mit vielen empfindenden Punkten haben, ganz in den Hintergrund. Was wir bei ruhigem Auflegen der Hand, etwa auf das Gepräge einer Medaille, durch das Hautgefühl zu ermitteln im Stande sind, ist ausserordentlich stumpf und dürftig im Vergleich mit dem, was wir durch tastende Bewegung, wenn auch nur mit der Spitze eines Bleistiftes, herausfinden. Beim Gesichtssinn wird dieser Vorgang dadurch viel verwickelter, dass neben der am feinsten empfindenden Stelle der Netzhaut, ihrer centralen Grube, welche beim Blicken gleichsam an dem Netzhautbilde herumgeführt wird, gleichzeitig noch eine grosse Menge anderer empfindender Punkte in viel ausgiebigerer Weise mitwirken, als dies beim Tastsinn der Fall ist.

Dass durch das Entlangführen des tastenden Fingers an den Objecten die Reihenfolge kennen gelernt wird, in der sich ihre Eindrücke darbieten, dass diese Reihenfolge sich als unabhängig davon erweist, ob man mit diesem oder jenem Finger tastet,

Digitized by Google

dass sie ferner nicht eine einläufig bestimmte Reihe ist, deren Elemente man immer wieder vor- oder rückwärts in derselben Ordnung durchlaufen müsste, um von einem zum anderen zu kommen, also keine linienförmige Reihe, sondern ein flächenhaftes Nebeneinander, oder nach Riemann's Terminologie, eine Mannigfaltigkeit zweiter Ordnung, das alles ist leicht einzusehen. Der tastende Finger freilich kann noch mittels anderer motorischer Impulse, als die sind, die ihn längs der tastbaren Fläche verschieben, von einem zum anderen Punkt derselben kommen, und verschiedene tastbare Flächen verlangen verschiedene Bewegungen, um an ihnen zu gleiten. Dadurch ist für den Raum, in dem sich das Tastende bewegt, eine höhere Mannigfaltigkeit verlangt als für die tastbare Fläche; es wird die dritte Dimension hinzutreten müssen. Diese aber genügt für alle vorliegenden Erfahrungen; denn eine geschlossene Fläche theilt den Raum, den wir kennen, vollständig. Auch Gase und Flüssigkeiten, die doch nicht an die Form des menschlichen Vorstellungsvermögens gebunden sind, können durch eine rings geschlossene Fläche nicht entweichen; und wie nur eine Fläche, nicht ein Raum, also ein Raumgebild von zwei, nicht eines von drei Dimensionen, durch eine geschlossene Linie zu begrenzen ist: so kann auch durch eine Fläche eben nur ein Raum von drei Dimensionen, nicht einer von vieren abgeschlossen werden.

So wäre die Kenntniss zu gewinnen von der Raumordnung des nebeneinander Bestehenden. Grössenvergleichungen würden durch Beobachtungen von Congruenz der tastenden Hand mit Theilen oder Punkten von Körperflächen, oder von Congruenz der Netzhaut mit den Theilen und Punkten des Netzhautbildes dazukommen.

Davon, dass diese angeschaute Raumordnung der Dinge ursprünglich herrührt von der Reihenfolge, in der sich die Qualitäten des Empfindens dem bewegten Sinnesorgan darboten, bleibt schliesslich auch im vollendeten Vorstellen des erfahrenen Beobachters eine wunderliche Folge stehen. Nämlich die im Raume vorhandenen Objecte erscheinen uns mit den Qualitäten unserer Empfindungen bekleidet. Sie erscheinen uns roth oder grün, kalt oder warm, riechen oder schmecken u. s. w., während diese Empfindungsqualitäten doch nur unserem Nervensystem angehören und gar nicht in den äusseren Raum hinausreichen. Selbst, wenn wir dies wissen, hört der Schein nicht auf, weil dieser Schein in der That die ursprüngliche Wahrheit ist; es sind eben

Digitized by Google

die Empfindungen, die sich zuerst in räumlicher Ordnung uns darbieten.

Sie sehen, dass die wesentlichsten Züge der Raumanschauung auf diese Weise abgeleitet werden können. Dem populären Bewusstsein aber erscheint eine Anschauung als etwas einfach Gegebenes, was ohne Nachdenken und Suchen zu Stande kommt, und überhaupt nicht weiter in andere psychische Vorgänge aufzulösen ist. Dieser populären Meinung schliesst sich ein Theil der physiologischen Optiker an, und die Kantianer stricter Observanz wenigstens betreffs der Raumanschauung. Bekanntlich nahm schon Kant nicht nur an, dass die allgemeine Form der Raumanschauung transcendental gegeben sei, sondern dass dieselbe auch von vorn herein und vor aller möglichen Erfahrung gewisse nähere Bestimmungen enthalte, wie sie in den Axiomen der Geometrie ausgesprochen sind. Diese lassen sich auf folgende Sätze zurückführen:

1) Zwischen zwei Punkten ist nur eine kürzeste Linie möglich. Wir nennen eine solche „gerade“.

2) Durch je drei Punkte lässt sich eine Ebene legen. Eine Ebene ist eine Fläche, in die jede gerade Linie ganz hineinfällt, wenn sie mit zwei Punkten derselben zusammenfällt.

3) Durch jeden Punkt ist nur eine Linie möglich, die einer gegebenen geraden Linie parallel ist. Parallel sind zwei gerade Linien, die in derselben Ebene liegen und sich in keiner endlichen Entfernung schneiden.

Ja Kant benutzt die angebliche Thatsache, dass diese Sätze der Geometrie uns als nothwendig richtig erschienen, und wir uns ein abweichendes Verhalten des Raumes auch gar nicht einmal vorstellen könnten, geradezu als Beweis dafür, dass sie vor aller Erfahrung gegeben sein müssten, und dass deshalb auch die in ihnen enthaltene Raumanschauung eine transcendentale, von der Erfahrung unabhängige Form der Anschauung sei.

Ich möchte hier zunächst wegen der Streitigkeiten, die in den letzten Jahren über die Frage geführt worden sind, ob die Axiome der Geometrie transcendentale oder Erfahrungssätze seien, hervorheben, dass diese Frage ganz zu trennen ist von der erst besprochenen, ob der Raum überhaupt eine transcendentale Anschauungsform sei oder nicht [1]).

---

[1]) Siehe Beilage II am Schlusse dieser Abhandlung.

Digitized by Google

Unser Auge sieht alles, was es sieht, als ein Aggregat farbiger Flächen im Gesichtsfelde; das ist seine Anschauungsform. Welche besonderen Farben bei dieser und jener Gelegenheit erscheinen, in welcher Zusammenstellung und in welcher Folge, ist Ergebniss der äusseren Einwirkungen und durch kein Gesetz der Organisation bestimmt. Ebenso wenig folgt daraus, dass der Raum eine Form des Anschauens sei, irgend etwas über die Thatsachen, die in den Axiomen ausgesprochen sind. Wenn solche Sätze keine Erfahrungssätze sein, sondern der nothwendigen Form der Anschauung angehören sollen, so ist dies eine weitere besondere Bestimmung der allgemeinen Form des Raumes, und diejenigen Gründe, welche schliessen lassen, dass die Anschauungsform des Raumes transcendental sei, genügen darum noch nicht nothwendig, um gleichzeitig zu beweisen, dass auch die Axiome transcendentalen Ursprungs seien.

Kant ist bei seiner Behauptung, dass räumliche Verhältnisse, die den Axiomen des Euklides widersprächen, überhaupt nicht einmal vorgestellt werden könnten, so wie in seiner gesammten Auffassung der Anschauung überhaupt, als eines einfachen, nicht weiter aufzulösenden psychischen Vorganges, durch den damaligen Entwickelungszustand der Mathematik und Sinnesphysiologie beeinflusst gewesen.

Wenn man eine vorher nie gesehene Sache sich vorzustellen versuchen will, so muss man sich die Reihe der Sinneseindrücke auszumalen wissen, welche nach den bekannten Gesetzen derselben zu Stande kommen müssten, wenn man jenes Object und seine allmäligen Veränderungen nach einander von jedem möglichen Standpunkte aus mit allen Sinnen beobachtete; und gleichzeitig müssen diese Eindrücke von der Art sein, dass dadurch jede andere Deutung ausgeschlossen ist. Wenn diese Reihe der Sinneseindrücke vollständig und eindeutig angegeben werden kann, muss man meines Erachtens die Sache für anschaulich vorstellbar erklären. Da dieselbe der Voraussetzung nach noch nie beobachtet sein soll, kann keine frühere Erfahrung uns zu Hilfe kommen und bei der Auffindung der zu fordernden Reihe von Eindrücken unsere Phantasie leiten, sondern es kann dies nur durch den Begriff des vorzustellenden Objects oder Verhältnisses geschehen. Ein solcher Begriff ist also zunächst auszuarbeiten und so weit zu specialisiren, als es der angegebene Zweck erfordert. Der Begriff von Raumgebilden, die der gewöhnlichen Anschauung nicht entsprechen sollen, kann nur durch die

Digitized by Google

rechnende analytische Geometrie sicher entwickelt werden. Für das vorliegende Problem hat zuerst Gauss 1828 durch seine Abhandlung über die Krümmung der Flächen die analytischen Hilfsmittel gegeben, und Riemann diese zur Auffindung der logisch möglichen, in sich consequenten Systeme der Geometrie angewendet; diese Untersuchungen hat man nicht unpassend als metamathematische bezeichnet. Zu bemerken ist übrigens, dass schon Lobatschewski (1829 und 1840) eine Geometrie ohne den Parallelensatz auf dem gewöhnlichen synthetisch anschaulichen Wege durchgeführt hat, welche in vollkommener Uebereinstimmung mit dem entsprechenden Theile der neueren analytischen Untersuchungen ist. Endlich hat Beltrami eine Methode der Abbildung metamathematischer Räume in Theilen des Euklidischen Raumes angegeben, durch welche die Bestimmung ihrer Erscheinungsweise im perspectivischen Sehen ziemlich leicht gemacht wird. Lipschitz hat die Uebertragbarkeit der allgemeinen Principien der Mechanik auf solche Räume nachgewiesen, so dass die Reihe der Sinneseindrücke, die in ihnen zu Stande kommen würden, vollständig angegeben werden kann, womit die Anschaubarkeit solcher Räume im Sinne der vorangestellten Definition dieses Begriffes erwiesen ist[1]).

Hier aber tritt der Widerspruch ein. Ich verlange für den Beweis der Anschaubarkeit nur, dass für jede Beobachtungsweise bestimmt und unzweideutig die entstehenden Sinneseindrücke anzugeben seien, nöthigenfalls unter Benutzung der wissenschaftlichen Kenntniss ihrer Gesetze, aus denen wenigstens für den Kenner dieser Gesetze hervorgehen würde, dass das betreffende Ding oder anzuschauende Verhältniss thatsächlich vorhanden sei. Die Aufgabe, sich die Raumverhältnisse in metamathematischen Räumen vorzustellen, erfordert in der That einige Uebung im Verständniss analytischer Methoden, perspectivischer Constructionen und optischer Erscheinungen.

Dies aber widerspricht dem älteren Begriff der Anschauung, welcher nur das als durch Anschauung gegeben anerkennt, dessen Vorstellung ohne Besinnen und Mühe sogleich mit dem sinnlichen Eindruck zum Bewusstsein kommt. Diese Leichtigkeit, Schnelligkeit, blitzähnliche Evidenz, mit der wir zum Beispiel die Form eines Zimmers, in welches wir zum ersten Male treten, die

---

[1]) Siehe meinen Vortrag über die Axiome der Geometrie. (S. 1 dieses Bandes.)

Digitized by Google

Anordnung und Form der darin enthaltenen Gegenstände, den Stoff, aus dem sie bestehen, und vieles Andere wahrnehmen, haben unsere Versuche mathematische Räume vorzustellen in der That nicht. Wenn diese Art der Evidenz also eine ursprünglich gegebene, nothwendige Eigenthümlichkeit aller Anschauung wäre, so könnten wir bis jetzt die Anschaubarkeit solcher Räume nicht behaupten.

Da stossen uns nun bei weiterer Ueberlegung Fälle in Menge auf, welche zeigen, dass Sicherheit und Schnelligkeit des Eintretens bestimmter Vorstellungen bei bestimmten Eindrücken auch erworben werden kann, selbst wo nichts von einer solchen Verbindung durch die Natur gegeben ist. Eines der schlagendsten Beispiele dieser Art ist das Verständniss unserer Muttersprache. Die Worte sind willkürlich oder zufällig gewählte Zeichen, jede andere Sprache hat andere; ihr Verständniss ist nicht angeerbt, denn für ein deutsches Kind, das zwischen Franzosen aufgewachsen ist und nie deutsch sprechen hörte, ist Deutsch eine fremde Sprache. Das Kind lernt die Bedeutung der Worte und Sätze nur durch Beispiele der Anwendung kennen, wobei man, ehe es die Sprache versteht, ihm nicht einmal verständlich machen kann, dass die Laute, die es hört, Zeichen sein sollen, die einen Sinn haben. Schliesslich versteht es, herangewachsen, diese Worte und Sätze ohne Besinnen, ohne Mühe, ohne zu wissen, wann, wo und an welchen Beispielen es sie gelernt hat, es fasst die feinsten Abänderungen ihres Sinnes, oft solche, denen Versuche logischer Definition nur schwerfällig nachhinken.

Es wird nicht nöthig sein, dass ich die Beispiele solcher Vorgänge häufe, das tägliche Leben ist reich genug daran. Die Kunst ist geradezu darauf begründet, am deutlichsten die Poesie und die bildende Kunst. Die höchste Art des Anschauens, wie wir sie im Schauen des Künstlers finden, ist ein solches Erfassen eines neuen Typus der ruhenden oder bewegten Erscheinung des Menschen und der Natur. Wenn sich die gleichartigen Spuren, welche oft wiederholte Wahrnehmungen in unserem Gedächtnisse zurücklassen, verstärken: so ist es gerade das Gesetzmässige, was sich am regelmässigsten gleichartig wiederholt, während das zufällig Wechselnde verwischt wird. Dem liebevollen und achtsamen Beobachter erwächst auf diese Weise ein Anschauungsbild des typischen Verhaltens der Objecte, die ihn interessirten, von dem er nachher eben so wenig weiss, wie es entstanden ist, als das Kind Rechenschaft davon geben kann, an

Digitized by Google

welchen Beispielen es die Bedeutung der Worte kennen gelernt hat. Dass der Künstler Wahres erschaut hat, geht daraus hervor, dass es uns wieder mit der Ueberzeugung der Wahrheit ergreift, wenn er es uns an einem von den Störungen des Zufalls gereinigten Beispiele vorträgt. Er aber ist uns darin überlegen, dass er es aus allem Zufall und aller Verwirrung des Treibens der Welt herauszulesen wusste.

So viel nur zur Erinnerung daran, wie dieser psychische Process von den niedrigsten bis zu den höchsten Entwickelungsstufen unseres Geisteslebens wirksam ist. Ich habe die hierbei eintretenden Vorstellungsverbindungen in meinen früheren Arbeiten als unbewusste Schlüsse bezeichnet; als unbewusst, insofern der Major derselben aus einer Reihe von Erfahrungen gebildet ist, die einzeln längst dem Gedächtniss entschwunden sind und auch nur in Form von sinnlichen Beobachtungen, nicht nothwendig als Sätze in Worte gefasst, in unser Bewusstsein getreten waren. Der bei gegenwärtiger Wahrnehmung eintretende neue sinnliche Eindruck bildet den Minor, auf den die durch die früheren Beobachtungen eingeprägte Regel angewendet wird. Ich habe später jenen Namen der unbewussten Schlüsse vermieden, um der Verwechslung mit der, wie mir scheint, gänzlich unklaren und ungerechtfertigten Vorstellung zu entgehen, die Schopenhauer und seine Nachfolger mit diesem Namen bezeichnen, aber offenbar haben wir es hier mit einem elementaren Processe zu thun, der allem eigentlich so genannten Denken zu Grunde liegt, wenn dabei auch noch die kritische Sichtung und Vervollständigung der einzelnen Schritte fehlt, wie sie in der wissenschaftlichen Bildung der Begriffe und Schlüsse eintritt.

Was also zunächst die Frage nach dem Ursprunge der geometrischen Axiome betrifft, so kann die bei mangelnder Erfahrung mangelnde Leichtigkeit der Vorstellung metamathematischer Raumverhältnisse nicht als Grund gegen ihre Anschaubarkeit geltend gemacht werden. Uebrigens ist die letztere vollkommen erweisbar. Kant's Beweis für die transcendentale Natur der geometrischen Axiome ist also hinfällig. Andererseits zeigt die Untersuchung der Erfahrungsthatsachen, dass die geometrischen Axiome, in demjenigen Sinne genommen, wie sie allein auf die wirkliche Welt angewendet werden dürfen, durch Erfahrung geprüft, erwiesen, eventualiter auch widerlegt werden können [1]).

---

[1]) Siehe meinen Aufsatz „On the Origin and Meaning of Geometrical Axioms" in der englischen Vierteljahrsschrift „Mind". Vol. III, p. 212

Digitized by Google

Eine weitere und höchst einflussreiche Rolle spielen die Gedächtnissreste früherer Erfahrungen noch in der Beobachtung unseres Gesichtsfeldes.

Ein nicht mehr ganz unerfahrener Beobachter erhält auch ohne Bewegung der Augen, sei es bei momentaner Beleuchtung durch eine elektrische Entladung, sei es bei absichtlichem starrem Fixiren, ein verhältnissmässig reiches Bild von den vor ihm befindlichen Gegenständen. Doch überzeugt sich auch der Erwachsene noch leicht, dass dieses Bild viel reicher und namentlich viel genauer wird, wenn er den Blick im Gesichtsfelde herumführt und also diejenige Art der Raumbeobachtung anwendet, die ich vorher als die grundlegende beschrieben habe. Wir sind in der That auch so sehr daran gewöhnt, den Blick an den Gegenständen, die wir betrachten, wandern zu lassen, dass es ziemlich viel Uebung erfordert, ehe es uns gelingt, für physiologisch optische Versuche ihn längere Zeit ohne Schwanken auf einem Punkte festzuhalten. Ich habe in meinen physiologisch optischen Arbeiten [1]) auseinanderzusetzen gesucht, wie unsere Kenntniss des Gesichtsfeldes durch Beobachtung der Bilder während der Bewegungen des Auges erworben werden kann, wenn nur irgend welcher wahrnehmbare Unterschied zwischen übrigens qualitativ gleichen Netzhautempfindungen existirt, der dem Unterschiede verschiedener Orte auf der Netzhaut entspricht. Nach Lotze's Terminologie wäre ein solcher Unterschied ein Localzeichen zu nennen; nur dass dieses Zeichen ein Localzeichen sei, d. h. einem örtlichen Unterschiede entspreche und welchem, braucht nicht von vorn herein bekannt zu sein. Dass Personen, die von Jugend auf blind waren und später durch Operation das Gesicht wieder erhielten, zunächst nicht einmal so einfache Formen, wie einen Kreis und ein Quadrat, durch das Auge unterscheiden konnten, ehe sie sie betastet hatten, haben auch neuere Beobachtungen wieder bestätigt [2]). Ausserdem lehrt

---

bis 224 (April 1878). Der deutsche Originaltext dieses Aufsatzes ist abgedruckt in meinen „Wissenschaftlichen Abhandlungen" Bd. II, S. 640. Leipzig 1883. Daraus ein Auszug in Beilage III am Schlusse dieses Vortrages.

[1]) Handbuch der Physiologischen Optik in Karsten's Encyclopädie der Physik. Leipzig 1867. — Vorträge über das Sehen des Menschen. Bd. I. S. 233 und 365 dieser Sammlung.

[2]) Dufour (Lausanne) im Bulletin de la Société médicale de la Suisse Romande, 1876.

Digitized by Google

die physiologische Untersuchung, dass wir verhältnissmässig genaue und sichere Vergleichungen nach dem Augenmaass ausschliesslich an solchen Linien und Winkeln im Sehfelde ausführen können, die sich durch die normalen Augenbewegungen schnell hinter einander auf denselben Stellen der Netzhaut abbilden lassen, ja sogar viel sicherer die wahren Grössen und Entfernungen der nicht allzu entfernten räumlichen Objecte schätzen, als die mit dem Standpunkt wechselnden perspectivischen im Gesichtsfelde des Beobachters, obgleich jene auf drei Dimensionen des Raumes bezügliche Aufgabe viel verwickelter ist, als die letztere, die sich nur auf ein flächenhaftes Bild bezieht. Eine der grössten Schwierigkeiten beim Zeichnen ist bekanntlich, sich frei zu machen von dem Einfluss, den die Vorstellung von der wahren Grösse der gesehenen Objecte unwillkürlich ausübt. Genau die beschriebenen Verhältnisse sind es nun, welche wir erwarten müssen, wenn wir das Verständniss der Localzeichen erst durch Erfahrung erworben haben. Für das, was objectiv constant bleibt, können wir die wechselnden sinnlichen Zeichen sicher kennen lernen, viel leichter als für das, was selbst bei jeder Bewegung unseres Körpers wechselt, wie es die perspectivischen Bilder thun.

Für eine grosse Zahl von Physiologen, deren Ansicht wir als die nativistische im Gegensatz zur empiristischen, die ich selbst zu vertheidigen gesucht habe, bezeichnen können, erscheint indessen diese Vorstellung einer erworbenen Kenntniss des Gesichtsfeldes unannehmbar, weil sie sich nicht klar gemacht haben, was doch am Beispiel der Sprache so deutlich vorliegt, wie viel die gehäuften Gedächtnisseindrücke zu leisten vermögen. Es sind deshalb eine Menge verschiedener Versuche gemacht worden, wenigstens einen gewissen Theil der Gesichtswahrnehmungen auf einen angeborenen Mechanismus zurückzuführen in dem Sinne, dass bestimmte Empfindungseindrücke bestimmte fertige Raumvorstellungen auslösen sollten. Im Einzelnen habe ich den Nachweis geführt [1]), dass alle bisher aufgestellten Hypothesen dieser Art nicht ausreichen, weil sich schliesslich doch immer wieder Fälle auffinden lassen, wo unsere Gesichtswahrnehmung sich in genauerer Uebereinstimmung mit der Wirklichkeit befindet, als jene Annahmen ergeben würden. Man ist dann zu der weiteren

---

[1]) Siehe mein Handbuch der Physiologischen Optik in Karsten's Encyclopädie der Physik. 3. Abtheilung. Leipzig 1867.

Digitized by Google

Hypothese gezwungen, dass die bei den Bewegungen gewonnene Erfahrung schliesslich die angeborene Anschauung überwinden könne und also gegen diese das leiste, was sie nach der empiristischen Hypothese ohne ein solches Hinderniss leisten soll.

Die nativistischen Hypothesen über die Kenntniss des Gesichtsfeldes erklären also erstens nichts, sondern nehmen nur an, dass das zu erklärende Factum bestehe, indem sie gleichzeitig die mögliche Rückführung desselben auf sicher constatirte psychische Processe zurückweisen, auf die sie doch selbst wiederum in anderen Fällen sich berufen müssen. Zweitens erscheint die Annahme sämmtlicher nativistischer Theorien, dass fertige Vorstellungen von Objecten durch den organischen Mechanismus hervorgebracht werden, viel verwegener und bedenklicher, als die Annahme der empiristischen Theorie, dass nur das unverstandene Material von Empfindungen von den äusseren Einwirkungen herrühre, alle Vorstellungen aber daraus nach den Gesetzen des Denkens gebildet werden.

Drittens sind die nativistischen Annahmen unnöthig. Der einzige Einwurf, der gegen die empiristische Erklärung vorgebracht werden konnte, ist die Sicherheit der Bewegung vieler neugeborener oder eben aus dem Ei gekrochener Thiere. Je weniger geistig begabt dieselben sind, desto schneller lernen sie das, was sie überhaupt lernen können. Je enger die Wege sind, die ihre Gedanken gehen müssen, desto leichter finden sie dieselben. Das neugeborene menschliche Kind ist im Sehen äusserst ungeschickt; es braucht mehrere Tage, ehe es lernt, nach dem Gesichtsbilde die Richtung zu beurtheilen, nach der es den Kopf wenden muss, um die Brust der Mutter zu erreichen. Junge Thiere sind allerdings von individueller Erfahrung viel unabhängiger. Was aber dieser Instinct ist, der sie leitet, ob directe Vererbung von Vorstellungskreisen der Eltern möglich ist, ob es sich nur um Lust und Unlust, oder um einen motorischen Drang handelt, die sich an gewisse Empfindungsaggregate anknüpfen, darüber wissen wir Bestimmtes noch so gut, wie gar nichts. Beim Menschen kommen deutlich erkennbar noch Reste der letztgenannten Phänomene vor. Sauber und kritisch angestellte Beobachtungen wären in diesem Gebiete im höchsten Grade wünschenswerth.

Höchstens könnte also für Einrichtungen, wie sie die nativistische Hypothese voraussetzt, ein gewisser pädagogischer Werth in Anspruch genommen werden, der das Auffinden der ersten

Digitized by Google

gesetzmässigen Verhältnisse erleichtert. Auch die empiristische Ansicht würde mit dahin zielenden Voraussetzungen vereinbar sein, dass zum Beispiel die Localzeichen benachbarter Netzhautstellen einander ähnlicher sind als die entfernter, diejenigen correspondirender Stellen beider Netzhäute ähnlicher als die von disparaten u. s. w. Für unsere gegenwärtige Untersuchung ist es genügend zu wissen, dass Raumanschauung vollständig auch beim Blinden entstehen kann, und dass beim Sehenden, selbst wenn die nativistischen Hypothesen theilweise zuträfen, doch schliesslich die letzte und genaueste Bestimmung der räumlichen Verhältnisse von den bei Bewegung gemachten Beobachtungen bedingt wird.

Ich kehre zurück zur Besprechung der ersten ursprünglichen Thatsachen unserer Wahrnehmung. Wir haben, wie wir gesehen, nicht nur wechselnde Sinneseindrücke, die über uns kommen, ohne dass wir etwas dazu thun, sondern wir beobachten unter fortdauernder eigener Thätigkeit, und gelangen dadurch zur Kenntniss des Bestehens eines gesetzlichen Verhältnisses zwischen unseren Innervationen und dem Präsentwerden der verschiedenen Eindrücke aus dem Kreise der zeitweiligen Präsentabilien. Jede unserer willkürlichen Bewegungen, durch die wir die Erscheinungsweise der Objecte abändern, ist als ein Experiment zu betrachten, durch welches wir prüfen, ob wir das gesetzliche Verhalten der vorliegenden Erscheinung, d. h. ihr vorausgesetztes Bestehen in bestimmter Raumordnung, richtig aufgefasst haben.

Die überzeugende Kraft jedes Experimentes ist aber hauptsächlich deshalb so sehr viel grösser, als die der Beobachtung eines ohne unser Zuthun ablaufenden Vorganges, weil beim Experiment die Kette der Ursachen durch unser Selbstbewusstsein hindurchläuft. Ein Glied dieser Ursachen, unseren Willensimpuls, kennen wir aus innerer Anschauung und wissen, durch welche Motive er zu Stande gekommen ist. Von ihm aus beginnt dann, als von einem uns bekannten Anfangsglied und zu einem uns bekannten Zeitpunkt, die Kette der physischen Ursachen zu wirken, die in den Erfolg des Versuches ausläuft. Aber eine wesentliche Voraussetzung für die zu gewinnende Ueberzeugung ist die, dass unser Willensimpuls weder selbst schon durch physische Ursachen, die gleichzeitig auch den physischen Process bestimmten, mit beeinflusst worden sei, noch seinerseits psychisch die darauf folgenden Wahrnehmungen beeinflusst habe.

Digitized by Google

Der letztere Zweifel kann namentlich bei unserem Thema in Betracht kommen. Der Willensimpuls für eine bestimmte Bewegung ist ein psychischer Act, die darauf wahrgenommene Aenderung der Empfindung gleichfalls. Kann nun nicht der erste Act den zweiten durch rein psychische Vermittelungen zu Stande bringen? Unmöglich ist es nicht. Wenn wir träumen, geschieht so etwas. Wir glauben träumend eine Bewegung zu vollführen und wir träumen dann weiter, dass dasjenige geschieht, was davon die natürliche Folge sein sollte. Wir träumen in einen Kahn zu steigen, ihn vom Land abzustossen, auf das Wasser hinaus zu gleiten, die umringenden Gegenstände sich verschieben zu sehen u. s. w. Hierbei scheint die Erwartung des Träumenden, dass er die Folgen seiner Handlungen eintreten sehen werde, die geträumte Wahrnehmung auf rein psychischem Wege herbeizuführen. Wer weiss zu sagen, wie lang und fein ausgesponnen, wie folgerichtig durchgeführt ein solcher Traum werden könnte. Wenn alles darin im höchsten Grade gesetzmässig der Naturordnung folgend geschähe, so würde kein anderer Unterschied vom Wachen bestehen, als die Möglichkeit des Erwachens, das Abreissen dieser geträumten Reihe von Anschauungen.

Ich sehe nicht, wie man ein System selbst des extremsten subjectiven Idealismus widerlegen könnte, welches das Leben als Traum betrachten wollte. Man könnte es für so unwahrscheinlich, so unbefriedigend wie möglich erklären — ich würde in dieser Beziehung den härtesten Ausdrücken der Verwerfung zustimmen — aber consequent durchführbar wäre es; und es scheint mir sehr wichtig, dies im Auge zu behalten. Wie geistreich Calderon dies Thema im „Leben ein Traum" durchgeführt, ist bekannt.

Auch Fichte nimmt an, dass sich das Ich das Nicht-Ich, d. h. die erscheinende Welt, selbst setzt, weil es ihrer zur Entwickelung seiner Denkthätigkeit bedarf. Sein Idealismus unterscheidet sich aber doch von dem eben bezeichneten dadurch, dass er die anderen menschlichen Individuen nicht als Traumbilder, sondern auf die Aussage des Sittengesetzes hin als dem eigenen Ich gleiche Wesen fasst. Da aber ihre Bilder, in denen sie das Nicht-Ich vorstellen, wieder alle zusammen stimmen müssen, so fasste er die individuellen Ichs alle als Theile oder Ausflüsse des absoluten Ich. Dann war die Welt, in der jene sich fanden, die Vorstellungswelt, welche der Weltgeist sich setzte, und konnte wieder den Begriff der Realität annehmen, wie es bei Hegel geschah.

Digitized by Google

Die **realistische Hypothese** dagegen traut der Aussage der gewöhnlichen Selbstbeobachtung, wonach die einer Handlung folgenden Veränderungen der Wahrnehmung gar keinen psychischen Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Willensimpuls haben. Sie sieht als unabhängig von unserem Vorstellen bestehend an, was sich in täglicher Wahrnehmung so zu bewähren scheint, die materielle Welt ausser uns. Unzweifelhaft ist die realistische Hypothese die einfachste, die wir bilden können, geprüft und bestätigt in ausserordentlich weiten Kreisen der Anwendung, scharf definirt in allen Einzelbestimmungen und deshalb ausserordentlich brauchbar und fruchtbar als Grundlage für das Handeln. Das Gesetzliche in unseren Empfindungen würden wir sogar in idealistischer Anschauungsweise kaum anders auszusprechen wissen, als indem wir sagen: „Die mit dem Charakter der Wahrnehmung auftretenden Bewusstseinsacte verlaufen so, **als ob** die von der realistischen Hypothese angenommene Welt der stofflichen Dinge wirklich bestände.“ Aber über dieses „**als ob**“ kommen wir nicht hinweg; für mehr als eine ausgezeichnet brauchbare und präcise Hypothese können wir die realistische Meinung nicht anerkennen; nothwendige Wahrheit dürfen wir ihr nicht zuschreiben, da neben ihr noch andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich sind.

Es ist gut, dies immer vor Augen zu halten, um nicht mehr aus den Thatsachen folgern zu wollen, als in der That daraus zu folgern ist. Die verschiedenen Abstufungen der idealistischen und realistischen Meinungen sind metaphysische Hypothesen, welche, so lange sie als solche anerkannt werden, ihre vollkommene wissenschaftliche Berechtigung haben, so schädlich sie auch werden mögen, wo man sie als Dogmen oder als angebliche Denknothwendigkeiten hinstellen will. Die Wissenschaft muss alle zulässigen Hypothesen erörtern, um eine vollständige Uebersicht über die möglichen Erklärungsversuche zu behalten. Noch nothwendiger sind die Hypothesen für das Handeln, weil man nicht immer zuwarten kann, bis eine gesicherte wissenschaftliche Entscheidung erreicht ist, sondern sich, sei es nach der Wahrscheinlichkeit, sei es nach dem ästhetischen oder moralischen Gefühl entscheiden muss. In diesem Sinne wäre auch gegen die metaphysischen Hypothesen nichts einzuwenden. Unwürdig eines wissenschaftlich sein wollenden Denkers aber ist es, wenn er den hypothetischen Ursprung seiner Sätze vergisst. Der Hochmuth und die Leidenschaftlichkeit, mit der solche versteckte Hypothesen vertheidigt werden, sind

Digitized by Google

die gewöhnlichen Folgen des unbefriedigenden Gefühls, welches ihr Vertheidiger in den verborgenen Tiefen seines Gewissens über die Berechtigung seiner Sache hegt.

Was wir aber unzweideutig und als Thatsache ohne hypothetische Unterschiebung finden können, ist das Gesetzliche in der Erscheinung. Von dem ersten Schritt an, wo wir vor uns weilende Objecte im Raume vertheilt wahrnehmen, ist diese Wahrnehmung das Anerkennen einer gesetzlichen Verbindung zwischen unseren Bewegungen und den dabei auftretenden Empfindungen. Schon die ersten elementaren Vorstellungen enthalten also in sich ein Denken und gehen nach den Gesetzen des Denkens vor sich. Alles, was in der Anschauung zu dem rohen Materiale der Empfindungen hinzukommt, kann in Denken aufgelöst werden, wenn wir den Begriff des Denkens so erweitert nehmen, wie es oben geschehen ist.

Denn wenn „begreifen“ heisst: Begriffe bilden, und wir im Begriff einer Classe von Objecten zusammensuchen und zusammenfassen, was sie von gleichen Merkmalen an sich tragen: so ergiebt sich ganz analog, dass der Begriff einer in der Zeit wechselnden Reihe von Erscheinungen das zusammenzufassen suchen muss, was in allen ihren Stadien gleich bleibt. Der Weise, wie Schiller es ausspricht:

„Sucht das vertraute Gesetz in des Zufalls grausenden Wundern,
„Suchet den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht.“

Wir nennen, was ohne Abhängigkeit von Anderem gleich bleibt in allem Wechsel der Zeit: die Substanz; wir nennen das gleichbleibende Verhältniss zwischen veränderlichen Grössen: das sie verbindende Gesetz. Was wir direct wahrnehmen, ist nur das Letztere. Der Begriff der Substanz kann nur durch erschöpfende Prüfungen gewonnen werden und bleibt immer problematisch, insofern weitere Prüfung vorbehalten wird. Früher galten Licht und Wärme als Substanzen, bis sich später herausstellte, dass sie vergängliche Bewegungsformen seien, und wir müssen immer noch auf neue Zerlegungen der jetzt bekannten chemischen Elemente gefasst sein. Das erste Product des denkenden Begreifens der Erscheinung ist das Gesetzliche. Haben wir es so weit rein ausgeschieden, seine Bedingungen so vollständig und sicher abgegrenzt und zugleich so allgemein gefasst, dass für alle möglicher Weise eintretenden Fälle der Erfolg eindeutig bestimmt ist, und wir gleichzeitig die Ueberzeugung ge-

Digitized by Google

winnen, es habe sich bewährt und werde sich bewähren in aller Zeit und in allen Fällen: dann erkennen wir es als ein unabhängig von unserem Vorstellen Bestehendes an und nennen es die Ursache; d. h. das hinter dem Wechsel ursprünglich Bleibende und Bestehende; nur in diesem Sinne ist meiner Meinung nach die Anwendung des Worts gerechtfertigt, wenn auch der gemeine Sprachgebrauch es in sehr verwaschener Weise überhaupt für Antecedens oder Veranlassung anwendet. Insofern wir dann das Gesetz als ein unsere Wahrnehmung und den Ablauf der Naturprocesse Zwingendes, als eine unserem Willen gleichwerthige Macht anerkennen, nennen wir es „Kraft“. Dieser Begriff der uns entgegentretenden Macht ist unmittelbar durch die Art und Weise bedingt, wie unsere einfachsten Wahrnehmungen zu Stande kommen. Von Anfang an scheiden sich die Aenderungen, die wir selbst durch unsere Willensacte machen, von solchen, die durch unsern Willen nicht gemacht, durch unsern Willen nicht zu beseitigen sind. Es ist namentlich der Schmerz, der uns von der Macht der Wirklichkeit die eindringlichste Lehre giebt. Der Nachdruck fällt hierbei auf die Beobachtungsthatsache, dass der wahrgenommene Kreis der Präsentabilien nicht durch einen bewussten Act unseres Vorstellens oder Willens gesetzt ist. Fichte's „Nicht-Ich“ ist hier der genau zutreffende negative Ausdruck. Auch dem Träumer erscheint, was er zu sehen und zu fühlen glaubt, nicht durch seinen Willen oder durch die bewusste Verkettung seiner Vorstellungen hervorgerufen zu sein, wenn auch unbewusst das Letztere in Wirklichkeit oft genug der Fall sein möchte; auch ihm ist es ein Nicht-Ich. Ebenso dem Idealisten, der es als die Vorstellungswelt des Weltgeistes ansieht.

Wir haben in unserer Sprache eine sehr glückliche Bezeichnung für dieses, was hinter dem Wechsel der Erscheinungen stehend auf uns einwirkt, nämlich: „das Wirkliche“. Hierin ist nur das Wirken ausgesagt; es fehlt die Nebenbeziehung auf das Bestehen als Substanz, welche der Begriff des Reellen, d. h. des Sachlichen, einschliesst. In den Begriff des Objectiven andererseits schiebt sich meist der Begriff des fertigen Bildes eines Gegenstandes ein, welcher nicht auf die ursprünglichsten Wahrnehmungen passt. Auch bei dem folgerichtig Träumenden müssten wir diejenigen seelischen Zustände oder Motive, welche ihm die dem gegenwärtigen Stande seiner erträumten Welt gesetzmässig entsprechenden Empfindungen zur Zeit unterschieben,

Digitized by Google

als wirksam und wirklich bezeichnen. Andererseits ist klar, dass eine Scheidung von Gedachtem und Wirklichem erst möglich wird, wenn wir die Scheidung dessen, was das Ich ändern und nicht ändern kann, zu vollführen wissen. Diese wird aber erst möglich, wenn wir erkennen, welche gesetzmässigen Folgen die Willensimpulse zur Zeit haben. Das Gesetzmässige ist daher die wesentliche Voraussetzung für den Charakter des Wirklichen.

Dass es eine Contradictio in adjecto sei, das Reelle oder Kant's „Ding an sich" in positiven Bestimmungen vorstellen zu wollen, ohne es doch in die Form unseres Vorstellens aufzunehmen, brauche ich Ihnen nicht auseinanderzusetzen. Das ist oft besprochen. Was wir aber erreichen können, ist die Kenntniss der gesetzlichen Ordnung im Reiche des Wirklichen, diese freilich nur dargestellt in dem Zeichensystem unserer Sinneseindrücke.

„Alles Vergängliche
„Ist nur ein Gleichniss."

Dass wir Goethe hier und weiter mit uns auf demselben Wege finden, halte ich für ein günstiges Zeichen. Wo es sich um weite Ausblicke handelt, können wir seinem hellen und unbefangenen Blick für Wahrheit wohl vertrauen. Er verlangte in der That von der Wissenschaft, sie solle nur eine künstlerische Anordnung der Thatsachen sein und keine abstracten Begriffe darüber hinaus bilden, die ihm leere Namen zu sein schienen und die Thatsachen nur verdüsterten. In demselben Sinne etwa bezeichnete es neuerdings G. Kirchhoff als die Aufgabe der Mechanik, der abstractesten unter den Naturwissenschaften, die in der Natur vorkommenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben. Was das „Verdüstern" betrifft, so geschieht dies in der That, wenn wir im Reiche der abstracten Begriffe stehen bleiben, und uns nicht den thatsächlichen Sinn derselben auseinander legen, d. h. uns klar machen, welche beobachtbaren neuen gesetzlichen Verhältnisse zwischen den Erscheinungen daraus folgen. Jede richtig gebildete Hypothese stellt ihrem thatsächlichen Sinne nach ein allgemeineres Gesetz der Erscheinungen hin, als wir bisher unmittelbar beobachtet haben; sie ist ein Versuch, zu immer allgemeinerer und umfassenderer Gesetzlichkeit aufzusteigen. Was sie an Thatsachen Neues behauptet, muss durch Beobachtung und Ver-

Digitized by Google

such geprüft und bestätigt werden. Hypothesen, die einen solchen thatsächlichen Sinn nicht haben, oder überhaupt nicht sichere und eindeutige Bestimmungen für die unter sie fallenden Thatsachen geben, sind nur als werthlose Phrasen zu betrachten.

Jede Zurückführung der Erscheinungen auf die zu Grunde liegenden Substanzen und Kräfte behauptet etwas Unveränderliches und Abschliessendes gefunden zu haben. Zu einer unbedingten Behauptung dieser Art sind wir nie berechtigt; das erlaubt weder die Lückenhaftigkeit unseres Wissens, noch die Natur der Inductionsschlüsse, auf denen all unsere Wahrnehmung des Wirklichen vom ersten Schritte an beruht.

Jeder Inductionsschluss stützt sich auf das Vertrauen, dass ein bisher beobachtetes gesetzliches Verhalten sich auch in allen noch nicht zur Beobachtung gekommenen Fällen bewähren werde. Es ist dies ein Vertrauen auf die Gesetzmässigkeit alles Geschehens. Die Gesetzmässigkeit aber ist die Bedingung der Begreifbarkeit. Vertrauen in die Gesetzmässigkeit ist also zugleich Vertrauen auf die Begreifbarkeit der Naturerscheinungen. Setzen wir aber voraus, dass das Begreifen zu vollenden sein wird, dass wir ein letztes Unveränderliches als Ursache der beobachteten Veränderungen werden hinstellen können, so nennen wir das regulative Princip unseres Denkens, was uns dazu treibt, das Causalgesetz. Wir können sagen, es spricht das Vertrauen auf die vollkommene Begreifbarkeit der Welt aus. Das Begreifen, in dem Sinne, wie ich es beschrieben habe, ist die Methode, mittels deren unser Denken die Welt sich unterwirft, die Thatsachen ordnet, die Zukunft voraus bestimmt. Es ist sein Recht und seine Pflicht, die Anwendung dieser Methode auf alles Vorkommende auszudehnen, und wirklich hat es auf diesem Wege schon grosse Ergebnisse geerntet. Für die Anwendbarkeit des Causalgesetzes haben wir aber keine weitere Bürgschaft, als seinen Erfolg. Wir könnten in einer Welt leben, in der jedes Atom von jedem anderen verschieden wäre, und wo es nichts Ruhendes gäbe. Da würde keinerlei Regelmässigkeit zu finden sein, und unsere Denkthätigkeit müsste ruhen.

Das Causalgesetz ist wirklich ein a priori gegebenes, ein transcendentales Gesetz. Ein Beweis desselben aus der Erfahrung ist nicht möglich; denn die ersten Schritte der Erfahrung sind nicht möglich, wie wir gesehen haben, ohne die An-

Digitized by Google

wendung von Inductionsschlüssen, d. h. ohne das Causalgesetz; und aus der vollendeten Erfahrung, wenn sie auch lehrte, dass alles bisher Beobachtete gesetzmässig verlaufen ist, — was zu versichern wir doch lange noch nicht berechtigt sind, — würde immer nur erst durch einen Inductionsschluss, d. h. unter Voraussetzung des Causalgesetzes folgen können, dass nun auch in Zukunft das Causalgesetz giltig sein würde. Hier gilt nur der eine Rath: Vertraue und handle!

Das Unzulängliche
Dann wird's Ereigniss.

Das wäre die Antwort, die wir auf die Frage zu geben haben: was ist Wahrheit in unserem Vorstellen? In dem, was mir immer als der wesentlichste Fortschritt in Kant's Philosophie erschienen ist, stehen wir noch auf dem Boden seines Systems. In diesem Sinne habe ich auch in meinen bisherigen Arbeiten häufig die Uebereinstimmung der neueren Sinnesphysiologie mit Kant's Lehren betont, aber damit freilich nicht gemeint, dass ich auch in allen untergeordneten Punkten in verba magistri zu schwören hätte. Als wesentlichsten Fortschritt der neueren Zeit glaube ich die Auflösung des Begriffs der Anschauung in die elementaren Vorgänge des Denkens betrachten zu müssen, die bei Kant noch fehlt, wodurch dann auch seine Auffassung der Axiome der Geometrie als transcendentaler Sätze bedingt ist. Es sind hier namentlich die physiologischen Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen gewesen, welche uns an die letzten elementaren Vorgänge des Erkennens hingeführt haben, die noch nicht in Worte fassbar, der Philosophie unbekannt und unzugänglich bleiben mussten, so lange diese nur die in der Sprache ihren Ausdruck findenden Erkenntnisse untersuchte.

Denjenigen Philosophen freilich, welche die Neigung zu metaphysischen Speculationen beibehalten haben, erscheint gerade das als das Wesentlichste an Kant's Philosophie, was wir als einen von der ungenügenden Entwickelung der Specialwissenschaften seiner Zeit abhängigen Mangel betrachtet haben. In der That stützt sich Kant's Beweis für die Möglichkeit einer Metaphysik, von welcher angeblichen Wissenschaft er selbst doch nichts weiter zu entdecken wusste, ganz allein auf die Meinung, dass die Axiome der Geometrie und die verwandten Principien der Mechanik transcendentale, a priori gegebene Sätze seien. Uebrigens widerspricht sein ganzes System eigentlich der Existenz

Digitized by Google

der Metaphysik und die dunklen Punkte seiner Erkenntnisstheorie, über deren Interpretation so viel gestritten worden ist, stammen von dieser Wurzel ab.

Nach alle dem hätte die Naturwissenschaft ihren sichern Boden, auf dem feststehend sie die Gesetze des Wirklichen suchen kann, ein wunderbar reiches und fruchtbares Arbeitsfeld. So lange sie sich auf diese Thätigkeit beschränkt, wird sie von idealistischen Zweifeln nicht getroffen. Solche Arbeit mag bescheiden erscheinen im Vergleich zu den hochfliegenden Plänen der Metaphysiker.

Doch mit Göttern
Soll sich nicht messen
Irgend ein Mensch.
Hebt er sich aufwärts
Und berührt
Mit dem Scheitel die Sterne,
Nirgends haften dann
Die unsicheren Sohlen,
Und mit ihm spielen
Wolken und Winde.

Steht er mit festen
Markigen Knochen
Auf der wohlgegründeten
Dauernden Erde:
Reicht er nicht auf,
Nur mit der Eiche
Oder der Rebe
Sich zu vergleichen.

Immerhin mag uns das Vorbild dessen, der dies sagte, lehren, wie ein Sterblicher, der wohl zu stehen gelernt hatte, auch wenn er mit dem Scheitel die Sterne berührte, noch das klare Auge für Wahrheit und Wirklichkeit behielt. Etwas von dem Blicke des Künstlers, von dem Blicke, der Goethe und Lionardo da Vinci auch zu grossen wissenschaftlichen Gedanken leitete, muss der rechte Forscher immer haben. Beide, Künstler und Forscher, streben, wenn auch in verschiedener Behandlungsweise, dem Ziele zu, neue Gesetzlichkeit zu entdecken. Nur muss man nicht müssiges Schwärmen und tolles Phantasiren für künstlerischen Blick ausgeben wollen. Der rechte Künstler und der rechte Forscher wissen beide recht zu arbeiten und ihrem Werke feste Form und überzeugende Wahrheitstreue zu geben.

Digitized by Google

Uebrigens hat sich bisher die Wirklichkeit der treu ihren Gesetzen nachforschenden Wissenschaft immer noch viel erhabener und reicher enthüllt, als die äussersten Anstrengungen mythischer Phantasie und metaphysischer Speculation sie auszumalen gewusst hatten. Was wollen alle die ungeheuerlichen Ausgeburten Indischer Träumerei, diese Häufungen riesiger Dimensionen und Zahlen, sagen gegen die Wirklichkeit des Weltgebäudes, gegen die Zeiträume, in denen Sonne und Erde sich bildeten, in denen das Leben während der geologischen Geschichte sich entwickelte, in immer vollendeteren Formen sich den beruhigteren physikalischen Zuständen unseres Planeten anpassend.

Welche Metaphysik hat vorbereitet Begriffe von Wirkungen, wie sie Magnete und bewegte Elektricität auf einander ausüben, um deren Zurückführung auf wohlbestimmte Elementarwirkungen die Physik im Augenblick noch ringt, ohne zu einem klaren Abschluss gelangt zu sein. Aber schon scheint auch das Licht nichts als eine andere Bewegungsweise jener beiden Agentien, und der raumfüllende Aether erhält als magnetisirbares und elektrisirbares Medium ganz neue charakteristische Eigenschaften.

Und in welches Schema scholastischer Begriffe sollen wir diesen Vorrath von wirkungsfähiger Energie einreihen, dessen Constanz das Gesetz von der Erhaltung der Kraft aussagt, der, unzerstörbar und unvermehrbar wie eine Substanz, als Triebkraft in jeder Bewegung des leblosen, wie des lebendigen Stoffes thätig ist, ein Proteus in immer neue Formen sich kleidend, durch den unendlichen Raum wirkend und doch nicht ohne Rest theilbar mit dem Raume, das Wirkende in jeder Wirkung, das Bewegende in jeder Bewegung, und doch nicht Geist und nicht Materie? — Hat ihn der Dichter geahnt?

In Lebensfluthen, in Thatensturm,
Wall' ich auf und ab,
Webe hin und her!
Geburt und Grab,
Ein ewiges Meer,
Ein wechselnd Weben,
Ein glühend Leben,
So schaff' ich am sausenden Webstuhl der Zeit,
Und wirke der Gottheit lebendiges Kleid.

Wir, Stäubchen auf der Fläche unseres Planeten, der selbst kaum ein Sandkorn im unendlichen Raume des Weltalls zu

Digitized by Google

nennen ist, wir, das jüngste Geschlecht unter den Lebendigen der Erde, nach geologischer Zeitrechnung kaum der Wiege entstiegen, noch im Stadium des Lernens, kaum halb erzogen, mündig gesprochen nur aus gegenseitiger Rücksicht, und doch schon durch den kräftigeren Antrieb des Causalgesetzes über alle unsere Mitgeschöpfe hinausgewachsen und sie im Kampf um das Dasein bezwingend, haben wahrlich Grund genug stolz zu sein, dass es uns gegeben ist „die unbegreiflich hohen Werke" in treuer Arbeit langsam verstehen zu lernen, und wir brauchen uns nicht im Mindesten beschämt zu fühlen, wenn dies nicht gleich im ersten Ansturm eines Icarusfluges gelingt.

Digitized by Google

Beilage I.

Ueber die Localisation der Empfindungen innerer Organe.

Zu Seite 229.

Es könnte hier in Frage kommen, ob nicht die physiologischen und pathologischen Empfindungen innerer Organe des Körpers mit den Seelenzuständen in dieselbe Kategorie fallen müssten, insofern viele von ihnen ebenfalls durch Bewegungen nicht, oder wenigstens nicht erheblich geändert werden. Nun giebt es in der That solche Empfindungen zweideutigen Charakters, wie die der Niedergeschlagenheit, Melancholie, Angst, welche ebenso gut aus körperlichen, wie aus psychischen Ursachen entstehen können, und bei denen auch jede Vorstellung einer besonderen Localisation fehlt. Höchstens macht sich bei der Angst die Gegend des Herzens in unbestimmter Weise als Sitz der Empfindung geltend, wie denn überhaupt die ältere Ansicht, dass das Herz Sitz vieler psychischen Gefühle sei, sich offenbar davon herleitete, dass dieses Organ durch solche häufig in veränderte Bewegung gesetzt wird, welche Bewegung man theils direct, theils indirect durch die aufgelegte Hand fühlt. So entsteht also eine Art falscher körperlicher Localisation für wirklich psychische Zustände. In Krankheitszuständen geht das noch viel weiter. Ich entsinne mich, als junger Arzt einen melancholischen Schuhmacher gesehen zu haben, welcher zu fühlen glaubte, dass sein Gewissen sich zwischen Herz und Magen gedrängt habe.

Andererseits giebt es doch eine Reihe körperlicher Empfindungen, wie Hunger, Durst, Uebersättigung, neuralgische und entzündliche Schmerzen, die wir, wenn auch unbestimmt, als körperliche localisiren und nicht für psychisch halten, obgleich sie durch Bewegungen des Körpers kaum verändert werden. Die meisten entzündlichen und rheumatischen Schmerzen freilich werden durch Druck auf die Theile oder durch Bewegung der

Digitized by Google

Theile, in denen sie ihren Sitz haben, erheblich gesteigert. Sie sind aber auch im gegentheiligen Falle, ebenso wie die neuralgischen Schmerzen wohl nur als höhere Intensitäten normal vorkommender Druck- und Spannungsgefühle der betreffenden Theile anzusehen. Die Art der Localisation giebt dabei häufig eine Hindeutung auf die Veranlassungen, bei denen wir etwas über den Ort der Empfindung erfahren haben. So werden fast alle Empfindungen der Baucheingeweide an bestimmte Stellen der vorderen Bauchwand verlegt, selbst für solche Organe, die, wie das Duodenum, Pancreas, Milz u. s. w., der hinteren Wand des Rumpfes näher liegen. Aber Druck von aussen kann alle diese Organe fast nur durch die nachgiebige vordere Bauchwand, nicht durch die dicken Muskelschichten zwischen Rippen, Wirbelsäule und Hüftbein treffen. Ferner ist sehr merkwürdig, dass bei Zahnschmerzen von Beinhautentzündung eines Zahns die Patienten im Anfang gewöhnlich unsicher sind, ob von einem Paar übereinander stehender Zähne der obere oder der untere leidet. Man muss erst kräftig auf die beiden Zähne drücken, um zu finden, welcher die Schmerzen macht. Sollte dies nicht davon herrühren, dass Druck auf die Beinhaut der Zahnwurzel im normalen Zustande nur beim Kauen vorzukommen pflegt, und dabei immer beide Zähne jedes Paars gleichzeitig gleich starken Druck erleiden?

Gefühl der Uebersättigung ist Empfindung von Fülle des Magens, welches durch Druck auf die Herzgrube deutlich gesteigert wird, während das Gefühl des Hungers durch denselben Druck sich einigermaassen vermindert. Dadurch kann deren Localisation in der Herzgrube veranlasst sein. Uebrigens wenn wir annehmen, dass den an denselben Stellen des Körpers endigenden Nerven die gleichen Localzeichen zukommen, würde die deutliche Localisation einer Empfindung eines solchen Organs auch für die anderen Empfindungen desselben genügen.

Dies gilt auch wohl für den Durst, insoweit derselbe Empfindung von Trockenheit des Schlundes ist. Das damit verbundene allgemeinere Gefühl von Wassermangel des Körpers, welches durch Benetzen des Mundes und Halses nicht beseitigt wird, ist dagegen nicht bestimmt localisirt.

Das in seiner Qualität eigenthümliche Gefühl des Athmungsbedürfnisses, der sogenannte Lufthunger, wird durch Athmungsbewegungen gemindert, und danach localisirt. Doch scheiden sich nur unvollkommen die Empfindungen für Athmungshemm-

Digitized by Google

nisse der Lungen und für Circulationshemmnisse, falls letztere nicht mit fühlbaren Aenderungen des Herzschlages verbunden sind. Vielleicht ist diese Scheidung nur deshalb so unvollkommen, weil Störungen der Athmung auch in der Regel gesteigerte Herzaction hervorrufen, und gestörte Herzaction die Befriedigung des Athmungsbedürfnisses erschwert.

Zu beachten ist übrigens, dass wir von der Form und den Bewegungen so ausserordentlich fein empfindlicher und dabei sicher und geschickt bewegter Theile, wie es unser Gaumensegel, Kehldeckel und Kehlkopf sind, ohne anatomische und physiologische Studien gar keine Vorstellung haben, da wir sie ohne optische Werkzeuge nicht sehen und sie auch nicht leicht betasten können. Ja trotz aller wissenschaftlichen Untersuchungen wissen wir noch nicht alle ihre Bewegungen mit Sicherheit zu beschreiben, z. B. nicht die bei Hervorbringung der Fistelstimme eintretenden Bewegungen des Kehlkopfs. Hätten wir angeborene Localisationskenntniss für unsere mit Tastempfindung versehenen Organe, so müssten wir eine solche doch für den Kehlkopf ebenso gut, wie für die Hände erwarten. In der That aber reicht unsere Kenntniss von der Form, Grösse, Bewegung unserer eigenen Organe nur gerade so weit, als wir diese sehen und betasten können.

Die ausserordentlich mannigfaltigen und fein auszuführenden Bewegungen des Kehlkopfs lehren uns auch noch betreffs der Beziehung zwischen dem Willensact und seiner Wirkung, dass, was wir zunächst und unmittelbar zu bewirken verstehen, nicht die Innervation eines bestimmten Nerven oder Muskels ist, auch nicht immer eine bestimmte Stellung der beweglichen Theile unseres Körpers, sondern es ist die erste beobachtbare äussere Wirkung. So weit wir durch Auge und Hand die Stellung der Körpertheile ermitteln können, ist letztere die erste beobachtbare Wirkung, auf die sich die bewusste Absicht im Willensact bezieht. Wo wir das nicht können, wie beim Kehlkopf und den hinteren Mundtheilen, sind die verschiedenen Modificationen der Stimme, des Athmens, Schlingens u. s. w. diese nächsten Wirkungen.

Die Bewegungen des Kehlkopfs, obgleich hervorgerufen durch Innervationen, die den zur Bewegung der Glieder gebrauchten vollkommen gleichartig sind, kommen also bei der Beobachtung von Raumveränderungen nicht in Betracht. Ob aber der sehr deutliche und mannigfaltige Ausdruck von Bewegung, den die

Digitized by Google

Musik hervorbringt, nicht vielleicht darauf zurückzuführen ist, dass die Aenderung der Tonhöhe im Gesang durch Muskelinnervation hervorgebracht wird, also durch dieselbe Art der inneren Thätigkeit, wie die Bewegung der Glieder, wäre noch zu fragen.

Auch für die Bewegungen der Augen besteht ein ähnliches Verhältniss. Wir wissen alle sehr wohl den Blick auf eine bestimmte Stelle des Gesichtsfeldes hinzurichten, d. h. zu bewirken, dass deren Bild auf die centrale Grube der Netzhaut fällt. Ungebildete Personen aber wissen nicht, wie sie die Augen dabei bewegen, und wissen nicht immer der Aufforderung eines Augenarztes, dass sie die Augen etwa nach rechts drehen sollen, wenn dies in dieser Form ausgesprochen wird, Folge zu leisten. Ja selbst Gebildete wissen zwar einen nahe vor die Nase gehaltenen Gegenstand anzusehen, wobei sie nach innen schielen; aber der Aufforderung nach innen zu schielen, ohne dass ein entsprechendes Object da wäre, wissen sie nicht Folge zu leisten.

Digitized by Google

Beilage II.

Der Raum kann transcendental sein, ohne dass es die Axiome sind.

Zu Seite 233.

Fast von allen philosophischen Gegnern der metamathematischen Untersuchungen sind beide Behauptungen als identisch behandelt worden, was sie keineswegs sind. Das hat Herr Benno Erdmann[1]) schon ganz klar in der den Philosophen geläufigen Ausdrucksweise auseinandergesetzt. Ich selbst habe es betont in einer gegen die Einwürfe von Herrn Land in Leyden gerichteten Antwort[2]). Obgleich der Verfasser der neuesten Gegenschrift, Herr Albrecht Krause[3]), beide Abhandlungen citirt, sind doch auch bei ihm wieder von 7 Abschnitten die ersten 5 zur Vertheidigung der transcendentalen Natur der Anschauungsform des Raumes bestimmt, und nur 2 behandeln die Axiome. Der Verfasser ist allerdings nicht bloss Kantianer, sondern Anhänger der extremsten nativistischen Theorien in der physiologischen Optik und betrachtet den ganzen Inhalt dieser Theorien als eingeschlossen in Kant's System der Erkenntnisstheorie, wozu doch nicht die geringste Berechtigung vorläge, selbst wenn Kant's individuelle Meinung, dem unentwickelten Zustande der physiologischen Optik seiner Zeit entsprechend, ungefähr so gewesen sein sollte. Die Frage, ob die Anschauung mehr oder weniger weit in begriffliche Bildungen aufzulösen sei, war damals noch nicht aufgeworfen worden. Uebrigens schreibt Herr Krause mir Vorstellungen über Localzeichen, Sinnengedächtniss, Einfluss der Netzhautgrösse u. s. w. zu, die ich nie gehabt und nie vorgetragen habe, oder die zu widerlegen ich mich ausdrücklich bemüht habe. Unter Sinnengedächtniss habe ich stets nur das Gedächtniss für unmittelbare sinnliche Eindrücke, die nicht in Wortfassung gebracht sind, bezeichnet, aber

---

[1]) Die Axiome der Geometrie. Leipzig 1877. Capitel III.

[2]) Mind, a Quarterly Review. London und Edinburgh. Vol. III. p. 212 (April 1878).

[3]) „Kant und Helmholtz“ von A. Krause. Lahr 1878.

Digitized by Google

würde gegen die Behauptung, dieses Sinnengedächtniss habe seinen Sitz in den peripherischen Sinnesorganen, stets lebhaft protestirt haben. Ich habe Versuche ausgeführt und beschrieben zu dem Zwecke, um zu zeigen, dass wir selbst mit gefälschten Netzhautbildern, z. B. durch Linsen, durch convergirende, divergirende oder seitlich ablenkende Prismen sehend, schnell die Täuschung überwinden lernen und wieder richtig sehen, und dann wird mir S. 41 von Herrn Krause untergeschoben, ein Kind müsste alles kleiner sehen, als ein Erwachsener, weil sein Auge kleiner ist. Vielleicht überzeugt der vorstehende Vortrag den genannten Autor, dass er den Sinn meiner empiristischen Theorie der Wahrnehmung bisher gänzlich missverstanden hat.

Was Herr Krause in den Abschnitten über die Axiome einwendet, ist zum Theil in dem vorstehenden Vortrage erledigt, z. B. die Gründe, warum die anschauliche Vorstellung eines bisher noch nie beobachteten Objects schwer sein könne. Dann folgt mit Bezug auf meine in dem Vortrage über die Axiome der Geometrie [1]) zur Veranschaulichung des Verhältnisses der verschiedenen Geometrien gemachten Annahme flächenhafter Wesen, die auf einer Ebene oder Kugel leben, eine Auseinandersetzung, dass auf der Kugel zwar zwei oder viele „geradeste“ [2]) Linien zwischen zwei Punkten existiren könnten, das Axiom des Euclides aber von der einen „geraden“ Linie spräche. Für die Flächenwesen auf der Kugel aber hat die gerade Verbindungslinie zwischen zwei Punkten der Kugelfläche, nach den gemachten Annahmen, gar keine reale Existenz in ihrer Welt. Die „geradeste“ Linie ihrer Welt wäre eben für sie, was für uns die „gerade“ ist. Herr Krause macht zwar den Versuch, die gerade Linie als die Linie von nur einer Richtung zu definiren. Wie soll man aber „Richtung“ definiren; doch wieder nur durch die gerade Linie. Hier bewegen wir uns in einem Circulus vitiosus. Richtung ist sogar der speciellere Begriff, denn in jeder geraden Linie giebt es zwei entgegengesetzte Richtungen.

Dann folgt eine Auseinandersetzung, dass wenn die Axiome Erfahrungssätze wären, wir von ihrer Richtigkeit nicht absolut überzeugt sein könnten, was wir doch wären. Darum dreht sich ja aber eben der Streit. Herr Krause ist überzeugt, wir würden Messungen, die gegen die Richtigkeit der Axiome sprächen,

---

[1]) Siehe S. 1 dieses Bandes.

[2]) So hatte ich die kürzesten oder geodätischen Linien benannt.

Digitized by Google

nicht glauben. Darin mag er wohl in Bezug auf eine grosse Anzahl von Menschen Recht haben, die einem auf alte Autorität gestützten Satze, der mit allen ihren übrigen Kenntnissen eng verwoben ist, lieber trauen als ihrem eigenen Nachdenken. Bei einem Philosophen sollte es doch anders sein. Die Menschen haben sich auch gegen die Kugelgestalt der Erde, gegen deren Bewegung, gegen die Existenz von Meteorsteinen lange genug höchst ungläubig verhalten. Uebrigens ist an seiner Behauptung richtig, dass es sich empfiehlt, in der Prüfung der Beweisgründe gegen Sätze von alter Autorität um so strenger zu sein, je länger sich dieselben bisher in der Erfahrung vieler Generationen als thatsächlich richtig erwiesen haben. Schliesslich aber müssen doch die Thatsachen und nicht die vorgefassten Meinungen oder Kant's Autorität entscheiden. Ferner ist richtig, dass, wenn die Axiome Naturgesetze sind, sie natürlich an der nur approximativen Erweisbarkeit aller Naturgesetze durch Induction Theil haben. Aber der Wunsch, exacte Gesetze kennen zu wollen, ist noch kein Beweis dafür, dass es solche giebt. Sonderbar aber ist es, dass Herr A. Krause, der die Ergebnisse wissenschaftlicher Messung wegen ihrer begrenzten Genauigkeit verwirft, für die transcendentale Anschauung sich mit den Schätzungen durch das Augenmaass beruhigt (S. 62), um zu erweisen, dass wir gar keiner Messungen bedürften, um uns von der Richtigkeit der Axiome zu überzeugen. Das heisst doch Freund und Feind mit verschiedenem Maasse messen! Als ob nicht jeder Zirkel aus dem schlechtesten Reisszeuge Genaueres leistete als das beste Augenmaass, selbst abgesehen von der Frage, die sich mein Gegner gar nicht stellt, ob das letztere angeboren und a priori gegeben oder nicht auch erworben sei.

Grossen Anstoss hat der Ausdruck Krümmungsmaass in seiner Anwendung auf den Raum von drei Dimensionen bei philosophischen Schriftstellern erregt[1]). Nun bezeichnet der Namen eine gewisse von Riemann definirte Grösse, welche für Flächen berechnet, zusammenfällt mit dem, was Gauss Krümmungsmaass der Flächen genannt hat. Diesen Namen haben die Geometer als kurze Bezeichnung für den allgemeineren Fall von mehr als zwei Dimensionen beibehalten. Der Streit bewegt sich hier nur um den Namen, und um nichts als den Namen für einen übrigens wohl definirten Grössenbegriff.

---

[1]) Z. B. bei A. Krause l. c. S. 84.

Digitized by Google

Beilage III.

Die Anwendbarkeit der Axiome auf die physische Welt.

Zu Seite 237.

Ich will hier die Folgerungen entwickeln, zu denen wir gedrängt würden, wenn Kant's Hypothese von dem transcendentalen Ursprunge der geometrischen Axiome richtig wäre und erörtern, welchen Werth alsdann diese unmittelbare Kenntniss der Axiome für unsere Beurtheilung der Verhältnisse der objectiven Welt haben würde[1]).

§. 1.

Ich werde in diesem ersten Abschnitte zunächst in der realistischen Hypothese stehen bleiben und deren Sprache reden, also annehmen, dass die Dinge, welche wir objectiv wahrnehmen, reell bestehen und auf unsere Sinne wirken. Ich thue dies zunächst nur, um die einfache und verständliche Sprache des gewöhnlichen Lebens und der Naturwissenschaft reden zu können, und dadurch den Sinn dessen, was ich meine, auch für Nichtmathematiker verständlich auszudrücken. Ich behalte mir vor, im folgenden Paragraphen die realistische Hypothese fallen zu lassen und die entsprechende Auseinandersetzung in abstracter Sprache und ohne jede besondere Voraussetzung über die Natur des Realen zu wiederholen.

Zunächst müssen wir von derjenigen Gleichheit oder Con-

---

[1]) Also, um neue Missverständnisse zu verhüten, wie sie bei Herrn A. Krause l. c. S. 84 vorkommen: nicht ich bin es, „der einen transcendentalen Raum mit ihm eigenen Gesetzen kennt“, sondern ich suche hier die Consequenzen aus der von mir für unerwiesen und unrichtig betrachteten Hypothese Kant's zu ziehen, wonach die Axiome durch transcendentale Anschauung gegebene Sätze sein sollen, um nachzuweisen, dass eine auf solcher Anschauung beruhende Geometrie gänzlich unnütz für objective Erkenntniss sein würde.

Digitized by Google

gruenz der Raumgrössen, wie sie der gemachten Annahme nach aus transcendentaler Anschauung fliessen könnte, diejenige Gleichwerthigkeit derselben unterscheiden, welche durch Messung mit physischen Hilfsmitteln zu constatiren ist.

Physisch gleichwerthig nenne ich Raumgrössen, in denen unter gleichen Bedingungen und in gleichen Zeitabschnitten die gleichen physikalischen Vorgänge bestehen und ablaufen können. Der unter geeigneten Vorsichtsmaassregeln am häufigsten zur Bestimmung physisch gleichwerthiger Raumgrössen gebrauchte Process ist die Uebertragung starrer Körper, wie der Zirkel und Maassstäbe, von einem Orte zum andern. Uebrigens ist es ein ganz allgemeines Ergebniss aller unserer Erfahrungen, dass wenn die Gleichwerthigkeit zweier Raumgrössen durch irgend welche dazu ausreichende Methode physikalischer Messung erwiesen worden ist, dieselben sich auch allen anderen bekannten physikalischen Vorgängen gegenüber als gleichwerthig erweisen. Physische Gleichwerthigkeit ist also eine vollkommen bestimmte eindeutige objective Eigenschaft der Raumgrössen, und offenbar hindert uns nichts durch Versuche und Beobachtungen zu ermitteln, wie physische Gleichwerthigkeit eines bestimmten Paares von Raumgrössen abhängt von der physischen Gleichwerthigkeit anderer Paare solcher Grössen. Dies würde uns eine Art von Geometrie geben, die ich einmal für den Zweck unserer gegenwärtigen Untersuchung physische Geometrie nennen will, um sie zu unterscheiden von der Geometrie, die auf die hypothetisch angenommene transcendentale Anschauung des Raumes gegründet wäre. Eine solche rein und absichtlich durchgeführte physische Geometrie würde offenbar möglich sein und vollständig den Charakter einer Naturwissenschaft haben.

Schon deren erste Schritte würden uns auf Sätze führen, welche den Axiomen entsprächen, wenn nur statt der transcendentalen Gleichheit der Raumgrössen ihre physische Gleichwerthigkeit gesetzt wird.

Sobald wir nämlich eine passende Methode gefunden hätten, um zu bestimmen, ob die Entfernungen je zweier Punktpaare einander gleich (d. h. physisch gleichwerthig) sind, würden wir auch den besonderen Fall unterscheiden können, wo drei Punkte a, b, c so liegen, dass ausser b kein zweiter Punkt zu finden ist, der dieselben Entfernungen von a und c hätte, wie b. Wir sagen in diesem Falle, dass die drei Punkte in gerader Linie liegen.

Digitized by Google

Wir würden dann im Stande sein, drei Punkte A, B, C zu suchen, die alle drei gleiche Entfernung von einander haben, also die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks darstellen. Dann könnten wir zwei neue Punkte suchen b und c, beide gleich weit von A entfernt, und b mit A und B, c mit A und C in gerader Linie liegend. Alsdann entstände die Frage: Ist das neue Dreieck Abc auch gleichseitig, wie ABC; ist also $bc = Ab = Ac$? Die Euklidische Geometrie antwortet: ja; die sphärische behauptet: $bc > Ab$, wenn $Ab < AB$; und die pseudosphärische: $bc < Ab$ unter derselben Bedingung. Schon hier kämen die Axiome zur thatsächlichen Entscheidung. Ich habe dieses einfache Beispiel gewählt, weil wir dabei nur mit der Messung von Gleichheit oder Ungleichheit der Entfernungen von Punkten, beziehlich mit der Bestimmtheit oder Unbestimmtheit der Lage gewisser Punkte zu thun haben, und weil gar keine zusammengesetzteren Raumgrössen, gerade Linien oder Ebenen construirt zu werden brauchen. Das Beispiel zeigt, dass diese physische Geometrie ihre die Stelle der Axiome einnehmenden Sätze haben würde.

So weit ich sehe, kann es auch für den Anhänger der Kant'schen Theorie nicht zweifelhaft sein, dass es möglich wäre, in der beschriebenen Weise eine rein erfahrungsmässige Geometrie zu gründen, wenn wir noch keine hätten. In dieser würden wir es nur mit beobachtbaren empirischen Thatsachen und deren Gesetzen zu thun haben. Die Wissenschaft, die auf solche Weise gewonnen wäre, würde nur insofern eine von der Beschaffenheit der im Raum enthaltenen physischen Körper unabhängige Raumlehre sein, als die Voraussetzung zuträfe, dass physische Gleichwerthigkeit immer für alle Arten physischer Vorgänge gleichzeitig eintritt.

Aber Kant's Anhänger behaupten, dass es neben einer solchen physischen auch eine reine Geometrie gebe, die allein auf transcendentale Anschauung gegründet sei, und dass diese in der That diejenige Geometrie sei, die bisher wissenschaftlich entwickelt wurde. Bei dieser hätten wir es gar nicht mit physischen Körpern und deren Verhalten bei Bewegungen zu thun, sondern wir könnten, ohne durch Erfahrung von solchen irgend etwas zu wissen, durch innere Anschauung uns Vorstellungen bilden von absolut unveränderlichen und unbeweglichen Raumgrössen, Körpern, Flächen, Linien, die, ohne dass sie jemals durch Bewegung, die nur physischen

Digitized by Google

Körpern zukommt, zur Deckung gebracht würden, doch im Verhältniss der Gleichheit und Congruenz zu einander ständen[1]).

Ich erlaube mir hervorzuheben, dass diese innere Anschauung von Geradheit der Linien, Gleichheit von Entfernungen oder von Winkeln absolute Genauigkeit haben müsste; sonst würden wir durchaus nicht berechtigt sein, darüber zu entscheiden, ob zwei gerade Linien, unendlich verlängert, sich nur einmal, oder auch vielleicht wie grösste Kreise auf der Kugel zweimal schneiden, noch zu behaupten, dass jede gerade Linie, welche eine von zwei Parallellinien, mit denen sie in derselben Ebene liegt, schneidet, auch die andere schneiden müsse. Man muss nicht das so unvollkommene Augenmaass für die transcendentale Anschauung unterschieben wollen, welche letztere absolute Genauigkeit fordert.

Gesetzten Falls, wir hätten nun eine solche transcendentale Anschauung von Raumgebilden, ihrer Gleichheit und ihrer Congruenz, und könnten uns durch wirklich genügende Gründe überzeugen, dass wir sie haben: so würde sich allerdings daraus ein System der Geometrie herleiten lassen, welches unabhängig von allen Eigenschaften der physischen Körper wäre, eine reine, transcendentale Geometrie. Auch diese Geometrie würde ihre Axiome haben. Es ist aber klar, auch nach Kant'schen Principien, dass die Sätze dieser hypothetischen reinen Geometrie nicht nothwendig mit denen der physischen übereinzustimmen brauchten. Denn die eine redet von Gleichheit der Raumgrössen in innerer Anschauung, die andere von physischer Gleichwerthigkeit. Diese letztere hängt offenbar ab von empirischen Eigenschaften der Naturkörper und nicht bloss von der Organisation unseres Geistes.

Dann wäre also zu untersuchen, ob die beiden besprochenen Arten der Gleichheit nothwendig immer zusammenfallen. Durch Erfahrung ist darüber nicht zu entscheiden. Hat es einen Sinn zu fragen, ob zwei Paare Zirkelspitzen nach transcendentaler Anschauung gleiche oder ungleiche Längen umfassen? Ich weiss damit keinen Sinn zu verbinden und soweit ich die neueren Anhänger Kant's verstanden habe, glaube ich annehmen zu dürfen, dass auch sie mit Nein antworten würden. Das Augenmaass dürfen wir uns, wie gesagt, hierbei nicht unterschieben lassen.

Könnte nun etwa aus Sätzen der reinen Geometrie gefolgert werden, dass die Entfernungen der beiden Zirkelspitzenpaare gleich gross seien? Dazu müssten geometrische Beziehungen

---

[1]) Land in Mind. II., p. 41. — A. Krause l. c. S. 62.

Digitized by Google

zwischen diesen Entfernungen und anderen Raumgrössen bekannt sein, von welchen letzteren man direct wissen müsste, dass sie im Sinne der transcendentalen Anschauung gleich seien. Da man dies nun direct nie wissen kann, so kann man es auch durch geometrische Schlüsse niemals folgern.

Wenn der Satz, dass beide Arten räumlicher Gleichheit identisch sind, nicht durch Erfahrung gefunden werden kann, so müsste er ein metaphysischer Satz sein und einer Denknothwendigkeit entsprechen. Dann würde eine solche aber nicht nur die Form empirischer Erkenntnisse, sondern auch ihren Inhalt bestimmen, — wie zum Beispiel bei der oben angeführten Construction zweier gleichseitiger Dreiecke, — eine Folgerung, welche Kant's Principien geradezu widersprechen würde. Dann würde das reine Anschauen und Denken mehr leisten, als Kant zuzugeben geneigt ist.

Gesetzten Falls endlich, dass die physische Geometrie eine Reihe allgemeiner Erfahrungssätze gefunden hätte, die mit den Axiomen der reinen Geometrie gleichlautend wären: so würde daraus höchstens folgen, dass die Uebereinstimmung zwischen physischer Gleichwerthigkeit der Raumgrössen und ihrer Gleichheit in reiner Raumanschauung eine zulässige Hypothese sei, die zu keinem Widerspruche führt. Sie würde aber nicht die einzig mögliche Hypothese sein. Der physische Raum und der Raum der Anschauung könnten sich zu einander auch verhalten, wie der wirkliche Raum zu seinem Abbild in einem Convexspiegel[1]).

Dass die physische Geometrie und die transcendentale nicht nothwendig übereinzustimmen brauchen, geht daraus hervor, dass wir sie uns thatsächlich als nicht übereinstimmend vorstellen können.

Die Art, wie eine solche Incongruenz zur Erscheinung kommen würde, ergiebt sich schon aus dem, was ich in einem früheren Aufsatze[2]) auseinandergesetzt habe. Nehmen wir an, dass die physikalischen Messungen einem pseudosphärischen Raume entsprächen. Der sinnliche Eindruck von einem solchen bei Ruhe des Beobachters und der beobachteten Objecte würde derselbe sein, als wenn wir Beltrami's kugeliges Modell im

---

[1]) Siehe meinen Vortrag über die Axiome in der Geometrie S. 1 dieses Bandes.

[2]) Ueber die Axiome in der Geometrie S. 1 dieses Bandes.

Digitized by Google

Euklidischen Raume vor uns hätten, wobei der Beobachter sich im Mittelpunkt befände. So wie aber der Beobachter seinen Platz wechselte, würde das Centrum der Projectionskugel mit dem Beobachter wandern müssen und die ganze Projection sich verschieben. Für einen Beobachter, dessen Raumanschauungen und Schätzungen von Raumgrössen entweder aus transcendentaler Anschauung oder als Resultat der bisherigen Erfahrung im Sinne der Euklidischen Geometrie gebildet wären, würde also der Eindruck entstehen, dass, so wie er selbst sich bewegt, auch alle von ihm gesehenen Objecte sich in einer bestimmten Weise verschieben und nach verschiedenen Richtungen verschieden sich dehnen und zusammenziehen. In ähnlicher Weise, nur nach quantitativ abweichenden Verhältnissen, sehen wir auch in unserer objectiven Welt die perspectivische relative Lage und die scheinbare Grösse der Objecte von verschiedener Entfernung wechseln, so wie der Beobachter sich bewegt. Wie wir nun thatsächlich im Stande sind, aus diesen wechselnden Gesichtsbildern zu erkennen, dass die Objecte rings um uns ihre relative gegenseitige Lage und Grösse nicht verändern, so lange die perspectivischen Verschiebungen genau dem in der bisherigen Erfahrung bewährten Gesetze entsprechen, welchem sie bei ruhenden Objecten unterworfen sind, wie wir dagegen bei jeder Abweichung von diesem Gesetze auf Bewegung der Objecte schliessen: so würde, wie ich selbst, als Anhänger der empiristischen Theorie der Wahrnehmung, glaube voraussetzen zu dürfen, auch Jemand, der aus dem Euklidischen Raume in den pseudosphärischen überträte, anfangs zwar Scheinbewegungen der Objecte zu sehen glauben, aber sehr bald lernen, seine Schätzung der Raumverhältnisse den neuen Bedingungen anzupassen.

Dies Letztere ist aber eine Voraussetzung, die nur nach der Analogie dessen, was wir sonst von den Sinneswahrnehmungen wissen, gebildet ist, und durch den Versuch nicht geprüft werden kann. Nehmen wir also an, die Beurtheilung der Raumverhältnisse bei einem solchen Beobachter könnte nicht mehr geändert werden, weil sie mit angeborenen Formen der Raumanschauung zusammenhinge: so würde derselbe doch schnell ermitteln, dass die Bewegungen, die er zu sehen glaubt, nur Scheinbewegungen sind, da sie immer wieder zurückgehen, wenn er selbst sich auf seinen ersten Standpunkt zurückbegiebt; oder ein zweiter Beobachter würde constatiren können, dass Alles in Ruhe bleibt, während der erste den Ort wechselt. Wenn also vielleicht auch

Digitized by Google

nicht vor der unreflectirten Anschauung, würde doch bald vor der wissenschaftlichen Untersuchung sich herausstellen können, welches die physikalisch constanten Raumverhältnisse sind, etwa so wie wir selbst durch wissenschaftliche Untersuchungen wissen, dass die Sonne feststeht und die Erde rotirt, trotzdem der sinnliche Schein fortbesteht, dass die Erde stillsteht und die Sonne in 24 Stunden einmal um sie herumläuft.

Dann aber würde diese ganze vorausgesetzte transcendentale Anschauung a priori in den Rang einer Sinnestäuschung, eines objectiv falschen Scheines herabgesetzt werden, von der wir uns zu befreien und die wir zu vergessen suchen müssten, wie es bei der scheinbaren Bewegung der Sonne der Fall ist. Es würde dann ein Widerspruch sein zwischen dem, was nach der angeborenen Anschauung als räumlich gleichwerthig erscheint, und dem, was in den objectiven Phänomenen sich als solches erweist. Unser ganzes wissenschaftliches und praktisches Interesse würde an das letztere geknüpft sein. Die transcendentale Anschauungsform würde die physikalisch gleichwerthigen Raumverhältnisse nur so darstellen, wie eine ebene Landkarte die Oberfläche der Erde, sehr kleine Stücke und Streifen richtig, grössere dagegen nothwendig falsch. Es würde sich dann nicht bloss um die Erscheinungsweise handeln, die ja nothwendig eine Modification des darzustellenden Inhalts bedingt, sondern darum, dass die Beziehungen zwischen Erscheinung und Inhalt, die für engere Grenzen Uebereinstimmung zwischen beiden herstellen, auf weitere Grenzen ausgedehnt einen falschen Schein geben würden.

Die Folgerung, welche ich aus diesen Betrachtungen ziehe, ist diese: Wenn es wirklich eine uns angeborene und unvertilgbare Anschauungsform des Raumes mit Einschluss der Axiome gäbe, so würden wir zu ihrer objectiven wissenschaftlichen Anwendung auf die Erfahrungswelt erst berechtigt sein, wenn durch Beobachtung und Versuch constatirt wäre, dass die nach der vorausgesetzten transcendentalen Anschauung gleichwerthigen Raumtheile auch physisch gleichwerthig seien. Diese Bedingung trifft zusammen mit Riemann's Forderung, dass das Krümmungsmaass des Raumes, in dem wir leben, empirisch durch Messung bestimmt werden müsse.

Die bisher ausgeführten Messungen dieser Art haben keine merkliche Abweichung des Werthes dieses Krümmungsmaasses von Null ergeben. Als thatsächlich richtig innerhalb der bis

Digitized by Google

jetzt erreichten Grenzen der Genauigkeit des Messens können wir die **Euklidische** Geometrie also allerdings ansehen.

§. 2.

Die Erörterungen des ersten Paragraphen blieben ganz im Gebiete des Objectiven und des realistischen Standpunkts des Naturforschers, wobei die begriffliche Fassung der Naturgesetze der Endzweck ist und die Kenntniss durch Anschauung nur eine erleichternde Hilfe, beziehlich ein zu beseitigender falscher Schein.

Herr Professor **Land** glaubt nun, dass ich bei meinen Auseinandersetzungen die Begriffe des **Objectiven** und des **Realen** verwechselt hätte, dass bei meiner Behauptung, die geometrischen Sätze könnten an der Erfahrung geprüft und durch sie bestätigt werden, unbegründeter Weise vorausgesetzt sei (Mind. II., p. 46) „that empirical knowledge is acquired by simple importation or by counterfeit, and not by peculiar operations of the mind, sollicited by varied impulses from an unknown reality". Wenn Herr Prof. **Land** meine Arbeiten über Sinnesempfindungen gekannt hätte, würde er gewusst haben, dass ich selbst mein Leben lang gegen eine solche Voraussetzung, wie er mir unterschiebt, gekämpft habe. Ich habe von dem Unterschiede des Objectiven und Realen in meinem Aufsatze nicht gesprochen, weil mir in der vorliegenden Untersuchung gar kein Gewicht auf diesen Unterschied zu fallen schien. Um diese meine Meinung zu begründen, wollen wir jetzt, was in der realistischen Ansicht hypothetisch ist, fallen lassen und nachweisen, dass die bisher aufgestellten Sätze und Beweise auch dann noch einen vollkommen richtigen Sinn haben, dass man auch dann noch nach der physischen Gleichwerthigkeit von Raumgrössen zu fragen und darüber durch Erfahrung zu entscheiden berechtigt ist.

Die einzige Voraussetzung, welche wir festhalten, ist die des Causalgesetzes, dass nämlich die mit dem Charakter der Wahrnehmung in uns zu Stande kommenden Vorstellungen nach festen Gesetzen zu Stande kommen, so dass, wenn verschiedene Wahrnehmungen sich uns aufdrängen, wir berechtigt sind, daraus auf Verschiedenheit der realen Bedingungen zu schliessen, unter denen sie sich gebildet haben. Uebrigens wissen wir über diese Bedingungen selbst, über das eigentlich Reale, was den Erscheinungen zu Grunde liegt, nichts; alle Meinungen, die wir sonst

Digitized by Google

darüber hegen mögen, sind nur als mehr oder minder wahrscheinliche Hypothesen zu betrachten. Die vorangestellte Voraussetzung dagegen ist das Grundgesetz unseres Denkens; wenn wir sie aufgeben wollten, so würden wir damit überhaupt darauf Verzicht leisten, diese Verhältnisse denkend begreifen zu können.

Ich hebe hervor, dass über die Natur der Bedingungen, unter denen Vorstellungen entstehen, hier gar keine Voraussetzungen gemacht werden sollen. Ebenso gut, wie die realistische Ansicht, deren Sprache wir bisher gebraucht haben, wäre zulässig die Hypothese des subjectiven Idealismus. Wir könnten annehmen, dass all unser Wahrnehmen nur ein Traum sei, wenn auch ein in sich höchst consequenter Traum, in dem sich Vorstellung aus Vorstellung nach festen Gesetzen entwickelte. In diesem Falle würde der Grund, dass eine neue scheinbare Wahrnehmung eintritt, nur darin zu suchen sein, dass in der Seele des Träumers Vorstellungen bestimmter anderer Wahrnehmungen und etwa auch Vorstellungen von eigenen Willensimpulsen bestimmter Art vorausgegangen sind. Was wir in der realistischen Hypothese Naturgesetze nennen, würden in der idealistischen Gesetze sein, welche die Folge der mit dem Charakter der Wahrnehmung auf einander folgenden Vorstellungen regeln.

Nun finden wir als Thatsache des Bewusstseins, dass wir wahrzunehmen glauben Objecte, die sich an bestimmten Orten im Raume befinden. Dass ein Object an einem bestimmten besonderen Orte erscheint und nicht an einem anderen, wird abhängen müssen von der Art der realen Bedingungen, welche die Vorstellung hervorrufen. Wir müssen schliessen, dass andere reale Bedingungen hätten vorhanden sein müssen, um zu bewirken, dass die Wahrnehmung eines anderen Orts des gleichen Objects eintrete. Es müssen also in dem Realen irgend welche Verhältnisse oder Complexe von Verhältnissen bestehen, welche bestimmen, an welchem Ort im Raume uns ein Object erscheint. Ich will diese, um sie kurz zu bezeichnen, *topogene Momente* nennen. Von ihrer Natur wissen wir nichts, wir wissen nur, dass das Zustandekommen räumlich verschiedener Wahrnehmungen eine Verschiedenheit der topogenen Momente voraussetzt.

Daneben muss es im Gebiete des Realen andere Ursachen geben, welche bewirken, dass wir zu verschiedener Zeit am

Digitized by Google

gleichen Orte verschiedene stoffliche Dinge von verschiedenen Eigenschaften wahrzunehmen glauben. Ich will mir erlauben, diese mit dem Namen der **hylogenen Momente** zu bezeichnen. Ich wähle diese neuen Namen, um alle Einmischung von Nebenbedeutungen abzuschneiden, die sich an gebräuchliche Worte knüpfen könnten.

Wenn wir nun irgend etwas wahrnehmen und behaupten, was eine gegenseitige Abhängigkeit von Raumgrössen aussagt, so ist zweifelsohne der thatsächliche Sinn einer solchen Aussage nur der, dass zwischen gewissen topogenen Momenten, deren eigentliches Wesen uns aber unbekannt bleibt, eine gewisse gesetzmässige Verbindung stattfindet, deren Art uns ebenfalls unbekannt ist. Eben deshalb sind **Schopenhauer** und viele Anhänger von **Kant** zu der unrichtigen Folgerung gekommen, dass in unseren Wahrnehmungen räumlicher Verhältnisse überhaupt kein realer Inhalt ist, dass der Raum und seine Verhältnisse nur transcendentaler Schein seien, ohne dass irgend etwas Wirkliches ihnen entspricht. Wir sind aber jedenfalls berechtigt, auf unsere räumlichen Wahrnehmungen dieselben Betrachtungen anzuwenden, wie auf andere sinnliche Zeichen z. B. die Farben. Blau ist nur eine Empfindungsweise; dass wir aber zu einer gewissen Zeit in einer bestimmten Richtung Blau sehen, muss einen realen Grund haben. Sehen wir zu anderer Zeit dort Roth, so muss dieser reale Grund verändert sein.

Wenn wir beobachten, dass verschiedenartige physikalische Processe in congruenten Räumen während gleicher Zeitperioden verlaufen können, so heisst dies, dass im Gebiete des Realen gleiche Aggregate und Folgen gewisser hylogener Momente zu Stande kommen und ablaufen können in Verbindung mit gewissen bestimmten Gruppen verschiedener topogener Momente, solcher nämlich, die uns die Wahrnehmung physisch gleichwerthiger Raumtheile geben. Und wenn uns dann die Erfahrung belehrt, dass jede Verbindung oder jede Folge hylogener Momente, die in Verbindung mit der einen Gruppe topogener Momente bestehen oder ablaufen kann, auch mit jeder physikalisch äquivalenten Gruppe anderer topogener Momente möglich ist, so ist dies jedenfalls ein Satz, der einen realen Inhalt hat, und die topogenen Momente beeinflussen also unzweifelhaft den Ablauf realer Processe.

In dem oben angegebenen Beispiel mit den zwei gleichsei-

Digitized by Google

tigen Dreiecken handelt es sich nur 1) um Gleichheit oder Ungleichheit, d. h. physische Gleichwerthigkeit oder Nicht-Gleichwerthigkeit von Punktabständen; 2) um Bestimmtheit oder Nicht-Bestimmtheit der topogenen Momente gewisser Punkte. Diese Begriffe von Bestimmtheit und von Gleichwerthigkeit in Beziehung auf gewisse Folgen können aber auch auf Objecte von übrigens ganz unbekanntem Wesen angewendet werden. Ich schliesse daraus, dass die Wissenschaft, welche ich physische Geometrie genannt habe, Sätze von realem Inhalt enthält, und dass ihre Axiome bestimmt werden, nicht von blossen Formen des Vorstellens, sondern von Verhältnissen der realen Welt.

Dies berechtigt uns noch nicht, die Annahme einer Geometrie, die auf transcendentale Anschauung gegründet ist, für unmöglich zu erklären. Man könnte z. B. annehmen, dass eine Anschauung von der Gleichheit zweier Raumgrössen ohne physische Messung unmittelbar durch die Einwirkung der topogenen Momente auf unser Bewusstsein hervorgebracht werde, dass also gewisse Aggregate topogener Momente auch in Bezug auf eine psychische, unmittelbar wahrnehmbare Wirkung äquivalent seien. Die ganze Euklidische Geometrie lässt sich herleiten aus der Formel, welche die Entfernung zweier Punkte als Function ihrer rechtwinkligen Coordinaten giebt. Nehmen wir an, dass die Intensität jener psychischen Wirkung, deren Gleichheit als Gleichheit der Entfernung zweier Punkte im Vorstellen erscheint, in derselben Weise von irgend welchen drei Functionen der topogenen Momente jedes Punktes abhängt, wie die Entfernung im Euklidischen Raume von den drei Coordinaten eines jeden, so müsste das System der reinen Geometrie eines solchen Bewusstseins die Axiome des Euklid erfüllen, wie auch übrigens die topogenen Momente der realen Welt und ihre physische Aequivalenz sich verhielten. Es ist klar, dass in diesem Falle die Uebereinstimmung zwischen psychischer und physischer Gleichwerthigkeit der Raumgrössen nicht allein aus der Form der Anschauung entschieden werden könnte. Und wenn sich Uebereinstimmung herausstellen sollte, so wäre diese als ein Naturgesetz, oder, wie ich es in meinem populären Vortrage bezeichnet habe, als eine praestabilirte Harmonie zwischen der Vorstellungswelt und der realen Welt aufzufassen, ebenso gut, wie es auf Naturgesetzen beruht, dass die von einem Lichtstrahl beschriebene gerade Linie mit der von einem gespannten Faden gebildeten zusammenfällt.

Digitized by Google

Ich meine damit gezeigt zu haben, dass die Beweisführung, die ich im §. 1 in der Sprache der realistischen Hypothese gegeben habe, sich auch ohne deren Voraussetzungen gültig erweist.

Wenn wir die Geometrie auf Thatsachen der Erfahrung anwenden wollen, wo es sich immer nur um physische Gleichwerthigkeit handelt, können nur die Sätze derjenigen Wissenschaft angewendet werden, die ich als physische Geometrie bezeichnet habe. Wer die Axiome aus der Erfahrung herleitet, dem ist unsere bisherige Geometrie in der That physische Geometrie, die sich nur auf eine grosse Menge planlos gesammelter, statt auf ein System methodisch durchgeführter Erfahrungen stützt. Zu erwähnen ist übrigens, dass dies schon die Ansicht von Newton war, der in der Einleitung zu den „Principia" erklärt: „Geometrie selbst hat ihre Begründung in mechanischer Praxis und ist in der That nichts Anderes, als derjenige Theil der gesammten Mechanik, welcher die Kunst des Messens genau feststellt und begründet[1])."

Dagegen ist die Annahme einer Kenntniss der Axiome aus transcendentaler Anschauung:

1) eine unerwiesene Hypothese,

2) eine unnöthige Hypothese, da sie nichts in unserer thatsächlichen Vorstellungswelt zu erklären vorgiebt, was nicht auch ohne ihre Hilfe erklärt werden könnte,

3) eine für die Erklärung unserer Kenntniss der wirklichen Welt gänzlich unbrauchbare Hypothese, da die von ihr aufgestellten Sätze auf die Verhältnisse der wirklichen Welt immer erst angewendet werden dürfen, nachdem ihre objective Giltigkeit erfahrungsmässig geprüft und festgestellt worden ist.

Kant's Lehre von den a priori gegebenen Formen der Anschauung ist ein sehr glücklicher und klarer Ausdruck des Sachverhältnisses; aber diese Formen müssen inhaltsleer und frei genug sein, um jeden Inhalt, der überhaupt in die betreffende Form der Wahrnehmung eintreten kann, aufzunehmen. Die Axiome der Geometrie aber beschränken die Anschauungsform des Raumes so, dass nicht mehr jeder denkbare Inhalt darin aufgenommen werden kann, wenn überhaupt Geometrie

---

[1]) Fundatur igitur Geometria in praxi Mechanica, et nihil aliud est quam Mechanicae universalis pars illa, quae artem mensurandi accurate proponit ac demonstrat.

Digitized by Google

auf die wirkliche Welt anwendbar sein soll. Lassen wir sie fallen, so ist die Lehre von der Transcendentalität der Anschauungsform des Raumes ohne allen Anstoss. Hier ist Kant in seiner Kritik nicht kritisch genug gewesen; aber freilich handelte es sich dabei um Lehrsätze aus der Mathematik, und dies Stück kritischer Arbeit musste durch die Mathematiker erledigt werden.

Digitized by Google

DIE

NEUERE ENTWICKELUNG

VON

FARADAY'S IDEEN

ÜBER

ELEKTRICITÄT.

Vortrag

zu

Faraday's Gedächtnissfeier gehalten vor der Chemischen Gesellschaft zu London am 5. April 1881.

Digitized by Google

Hochgeehrte Versammlung!

Ihrer ehrenvollen Aufforderung folgend soll ich heute auf derselben Stelle zu Ihnen reden, von welcher aus der grosse Naturforscher, dessen Gedächtniss wir feiern, so oft seine bewundernden Zuhörer durch Enthüllung ungeahnter Geheimnisse der Natur überrascht hat. Zuvörderst bitte ich um die Erlaubniss, meine heutigen Auseinandersetzungen auf diejenige Seite seiner Thätigkeit beschränken zu dürfen, mit der ich am besten durch eigene Untersuchungen und Beobachtungen bekannt bin, nämlich auf das Studium der Elektricitätslehre. In der That ist ja auch der grössere Theil von Faraday's eigenen Untersuchungen diesem Zweige der Physik zugewendet gewesen, und seine hervorragendsten Entdeckungen hat er in diesem Gebiete gemacht. Die Thatsachen, die er hier gefunden hat, sind allgemein bekannt; jedes Lehrbuch der Physik handelt von ihnen, jeder Studirende der Naturwissenschaften hat sie gesehen. Die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes durch Magnetismus, die Erscheinungen des Diamagnetismus im Wismuth, die diëlektrische Polarisation der elektrischen Isolatoren, sind bekannte Dinge; jeder Physiker weiss das Voltameter zu brauchen, um elektrische Ströme zu messen, während inducirte Ströme das Telephon sprechen machen, gelähmte Muskeln wieder in Thätigkeit setzen und als Quelle des elektrischen Lichtes gebraucht werden. Als der erste Entdecker einer so zahlreichen, wichtigen und so überraschenden Reihe neuer Thatsachen hat Faraday in der That die allgemeinste Bewunderung und Anerkennung gefunden. Wer hätte auch seine Augen dagegen verschliessen können?

Anders verhielt es sich dagegen mit den Vorstellungen, die er sich über das innere Wesen dieser Vorgänge gebildet hatte, und die ihm den Weg zu seinen vielbewunderten Entdeckungen gewiesen. Sie wurden anfangs kaum verstanden, wenig beachtet und wohl meist als Wunderlichkeiten bei Seite geschoben. In der That wichen sie stark ab von den gewohnten Bahnen

Digitized by Google

wissenschaftlicher Erklärungen und erst allmälig haben wir sie auch nur zu verstehen gelernt. Das wesentliche Ziel, was er hierbei verfolgte, bestand darin, dass er in seinen theoretischen Vorstellungen nur beobachtbare und beobachtete Thatsachen ausdrücken wollte mit sorgfältigster Vermeidung jeder Einmischung hypothetischer Elemente. Dieses Bestreben von seiner Seite war in der That auf einen wesentlichen Fortschritt in den Principien wissenschaftlicher Methodik hingerichtet, dessen Ziel es ist, die Naturwissenschaft von den letzten Ueberbleibseln der Metaphysik zu befreien. Faraday war nicht gerade der Erste und nicht der Einzige unter seinen Zeitgenossen, der dieser Richtung nachstrebte. Ich habe bei einer anderen Gelegenheit[1]) schon darauf aufmerksam gemacht, dass Goethe sich ein ähnliches Ideal für die Endziele naturwissenschaftlicher Auffassung gebildet hatte, und auch Alexander v. Humboldt suchte dasselbe zu verwirklichen. Aber so radical wie Faraday ist wohl keiner von den Zeitgenossen vorgegangen, und keiner hat dem neuen Princip eine so energische und so fruchtbare praktische Anwendung gegeben.

Nun führt aber jede tiefgreifende Veränderung der grundlegenden Principien und Voraussetzungen einer Wissenschaft nothwendig die Bildung neuer abstracter Begriffe und ungewohnter Vorstellungsverbindungen mit sich, in welche sich die zeitgenössischen Leser nur langsam einleben, wenn sie überhaupt geneigt sind, sich diese Mühe zu geben. Der Sinn einer neuen Abstraction kann erst dann als klar verstanden gelten, wenn die Art ihrer Anwendung auf die wesentlichsten Gruppen der Einzelfälle, die darunter zu ordnen sind, durchgedacht und richtig befunden ist. Neue Abstractionen in allgemeinen Sätzen zu definiren, so dass nicht Missverständnisse aller Art vorkommen könnten, ist meist sehr schwer. Dem Urheber eines solchen neuen Gedankens ist es dann meist viel schwerer herauszufinden, warum die Anderen ihn nicht verstehen, als ihm die Entdeckung der neuen Wahrheit war. In Faraday's Falle kam dazu, dass er der Sohn eines Schmiedes, dann als Buchbinderlehrling beschäftigt, nicht durch dieselbe Schule wissenschaftlicher Disciplinirung gegangen war, wie die Mehrzahl seiner Leser.

Seitdem die mathematische Interpretation von Faraday's

---

[1]) In meinem Vortrag über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten Bd. I., S. 1 dieser Sammlung.

Digitized by Google

Sätzen durch Clerk Maxwell in den methodisch durchgearbeiteten Formen der Wissenschaft gegeben ist, sehen wir freilich, welch eine scharfe Bestimmtheit der Vorstellungen und welche genaue Folgerichtigkeit hinter Faraday's Worten verborgen ist, die seinen Zeitgenossen so unbestimmt und dunkel erschienen; und es ist im höchsten Grade merkwürdig zu sehen, eine wie grosse Zahl umfassender Theoreme, deren methodischer Beweis das Aufgebot der höchsten Kräfte der mathematischen Analysis erfordert, er durch eine Art innerer Anschauung mit instinctiver Sicherheit gefunden hat, ohne eine einzige mathematische Formel aufzustellen. Ich möchte Faraday's Zeitgenossen nicht deshalb herabsetzen, weil sie das verkannt haben; ich weiss selbst zu wohl, wie oft ich gesessen habe, hoffnungslos auf eine seiner Beschreibungen von Kraftlinien und von deren Zahl und Spannung starrend, oder den Sinn von Sätzen suchend, wo der galvanische Strom als eine Axe der Kraft bezeichnet wird, und Aehnliches mehr. Eine einzelne bemerkenswerthe Entdeckung kann natürlich auch durch einen glücklichen Zufall herbeigeführt werden und beweist noch nicht immer, dass der Gedankengang, durch den ihr Autor dazu geleitet worden ist, richtig, und dass er selbst ein ungewöhnlich begabter Mann sei. Es wäre aber gegen alle Gesetze der Wahrscheinlichkeit, dass eine zahlreiche Reihe der wichtigsten Entdeckungen, wie sie Faraday aufzuweisen hat, aus Vorstellungen entspringen könnte, die nicht wirklich eine richtige, wenn auch vielleicht noch tief verborgene Grundlage von Wahrheit in sich enthalten sollten. Wir werden auch in seinem Falle vielleicht daran denken müssen, dass die grossen Wohlthäter der Menschheit gerade für das Beste, was sie geleistet, nicht immer schon während ihres Lebens volle Anerkennung gefunden, und dass neue Ideen gewöhnlich desto langsamer sich Bahn brechen, je mehr wirklich Ursprüngliches sie enthalten, und je mehr sie umgestaltend auf die Art der wissenschaftlichen Thätigkeit zu wirken geeignet sind.

Obgleich viele von Faraday's elektrischen Untersuchungen sich mit anscheinend nebensächlichen und unwichtigen Dingen befassen, die übrigens alle mit derselben aufmerksamen Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit behandelt werden: so kann man bei näherer Betrachtung doch immer ihren Zusammenhang mit zwei fundamentalen Problemen der Naturwissenschaft erkennen, deren eines das Wesen der gewöhnlich mit dem Namen der „physikalischen“ bezeichneten Kräfte betrifft, d. h. der Kräfte, welche in

Digitized by Google

die Entfernung wirken, das andere dagegen die chemischen Kräfte, welche nur in nächster Nähe von Molekel zu Molekel wirken, sowie das Verhältniss der letzteren Kräfte zu den ersteren.

Ich kann heute nur eine ganz kurze Schilderung des Standpunktes geben, welchen die Elektricitätslehre gegenwärtig in Bezug auf das erste der beiden Probleme erreicht hat. Die darüber geführten Discussionen sind noch nicht beendigt, die Meinungen gehen weit auseinander, obgleich, wie mir scheint, die Gründe für eine endliche Entscheidung schon erkennbar sind. Eine eingehendere Besprechung dieser Streitfragen würde uns tief in mathematische und mechanische Probleme verwickeln, und schliesslich könnte ich die Gründe pro et contra, sowie die Art der Entscheidung doch in einer kurzen öffentlichen Vorlesung nicht in der Weise auseinandersetzen, dass ich darauf rechnen dürfte, meine Zuhörer zu einer begründeten wissenschaftlichen Ueberzeugung zu führen. Ich kann daher über diese Seite meiner heutigen Aufgabe nur einen kurzen Bericht geben, der meinem eigenen Urtheile über die Sache gemäss abgefasst ist. Aber ich will dabei nicht verschweigen, dass einige Männer von grossen wissenschaftlichen Verdiensten, namentlich unter meinen eignen Landsleuten, noch nicht meiner Meinung sind.

Das grosse fundamentale Problem, welches Faraday wieder zur Discussion brachte, war die Frage, ob es Kräfte giebt, die unmittelbar und ohne Betheiligung eines dazwischen liegenden Mediums in die Ferne wirken. Während des vorigen und gegenwärtigen Jahrhunderts hatte die zwischen den Weltkörpern wirkende Gravitationskraft als das gemeinsame Vorbild für fast alle physikalischen Theorien gedient. Es ist bekannt, mit wie viel Vorsicht und wie zögernd Isaak Newton selbst diese seine Hypothese vortrug, welche bestimmt war, das erste grossartige und sieghafte Beispiel für die Fruchtbarkeit und die Macht wahrer wissenschaftlicher Methode zu werden. Später vergass man unter dem Eindruck des Erfolges die Bedenken, die bei Newton selbst und seinen Zeitgenossen noch so mächtig waren. Wir dürfen uns nicht wundern, dass Newton's Nachfolger zunächst versuchten, ähnliche Erfolge zu erreichen, indem sie sich bemühten, auch alle anderen physikalischen Vorgänge durch die Annahme von Fernkräften zu erklären. Die Phänomene, welche die in ihren Leitern ruhende Elektricität und der Magnetismus darbieten, schienen sogar eine besonders nahe Verwandtschaft mit denen der Gravitation darzubieten, da das von Coulomb gefundene

Digitized by Google

Gesetz, nach welchem die Wirkung der anziehenden und abstossenden Kräfte dieser Agentien mit steigender Entfernung abnimmt, nämlich umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstands, in den drei genannten Fällen genau das gleiche ist.

Dann aber kam Oersted's Entdeckung über die Bewegungen, welche Magnete unter Einwirkung elektrischer Ströme ausführen. Die elektromagnetischen Kräfte, welche diese Bewegungen hervorrufen, haben einen sehr auffallenden und eigenthümlichen Charakter. Es schien nämlich, als ob dieselben einen einzelnen isolirten Pol eines Magneten fortdauernd im Kreise herumtreiben müssten, ohne Ende, ohne jemals ein Ziel zu erreichen, an welchem seine Bewegung endete. Nun ist es freilich nicht möglich, einen einzelnen Pol eines Magneten von dem entgegengesetzten zu trennen; indessen gelang es Ampère in der That, diese Kreisbewegung ohne Ende hervorzubringen, indem er einen Theil des Stromleiters mit dem Magneten beweglich machte.

Dieser Charakter der elektromagnetischen Kraft war der Ausgangspunkt für Faraday's Beschäftigung mit der Elektricität. Er sah, dass eine Bewegung von solcher Art nicht durch irgend eine Combination anziehender oder abstossender Kräfte hervorgebracht werden konnte, die von einem materiellen Punkt zum anderen wirkten. Es scheint ihn hierbei eine instinctive Vorahnung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft geleitet zu haben, wie sich eine solche bei vielen aufmerksamen Beobachtern von Naturprocessen entwickelt hatte, längst ehe Herr Pr. Joule diesem Gesetz scharfe wissenschaftliche Fassung gegeben und die wesentlichste Lücke in dem empirischen Beweise desselben ausgefüllt hatte. Wenn ein galvanischer Strom einen Magneten in der beschriebenen Weise in Bewegung setzen und mit steigender Geschwindigkeit vorwärts treiben kann: so muss nothwendig eine Rückwirkung des bewegten Magneten auf den Strom stattfinden, wodurch Stromeskraft verzehrt wird. Faraday stellte dem entsprechende Versuche an und fand die durch die Bewegung des Magneten erregten Ströme, welche man inducirte Ströme nennt. Er verfolgte deren Vorkommen durch alle die verschiedenen Bedingungen, unter denen sie entstehen können. Er fand, dass eine elektromotorische Kraft, die solche Ströme hervorzubringen strebt, überall und immer da auftritt, wo magnetische Kraft neu entsteht, anwächst oder schwindet. Daraus schloss er, dass jeder Theil des Raumes, in dem magnetische Kraft wirksam ist, sich in einem dauernd veränderten Zustande

Digitized by Google

befindet, in einer Art von Spannung, welche in den ursprünglichen Zustand zurückzukehren strebt, sobald die magnetische Einwirkung aufhört, und dass jede Aenderung in diesem Zustande sich durch das Auftreten elektromotorischer Kräfte zu erkennen giebt. Diesen unbekannten hypothetischen Zustand des raumfüllenden Medium nannte er provisorisch den elektrotonischen Zustand, und war dann während einer langen Reihe von Jahren bemüht herauszufinden, was das Wesen dieses elektrotonischen Zustandes sei. Er entdeckte zuerst 1838 die diëlektrische Polarisation, welche in elektrischen Isolatoren eintritt, wenn sie elektrischen Anziehungskräften ausgesetzt werden. Solche Körper zeigen unter dem Einflusse elektrischer Anziehungskräfte ganz ähnliche Zeichen einer in ihren Molekeln zu Stande gekommenen elektrischen Vertheilung, wie sie weiches Eisen in Bezug auf Magnetisirung unter dem Einflusse magnetischer Kraft zeigt. Eilf Jahre später, 1849, war er endlich im Stande nachzuweisen, dass nicht nur Eisen und die verwandten Körper, sondern geradezu alle wägbaren Substanzen unter dem Einflusse hinreichend starker magnetischer Kraft deutlich erkennbare Spuren der Magnetisirung zeigen; ja die von ihm gleichzeitig entdeckten Erscheinungen des Diamagnetismus scheinen anzuzeigen, dass sogar der von allen wägbaren Massen geleerte Raum, beziehlich der in ihm noch enthaltene Lichtäther, magnetisirbar ist. In der That erklären sich die Erscheinungen des Diamagnetismus bei weitem am einfachsten und ungezwungensten, wenn man annimmt, dass diamagnetisch solche Körper sind, die weniger magnetisirbar sind, als das sie umgebende raumfüllende Medium. So waren nun wirklich wahrnehmbare Veränderungen nachgewiesen, die jenem theoretisch geforderten elektrotonischen Zustande entsprechen konnten, und nun ging Faraday daran, in seinem Kopfe eine Arbeit durchzuführen, die der Natur der Sache nach die eines grossen Mathematikers wär, ohne dabei eine einzige mathematische Formel zu brauchen. Er machte sich klar, dass magnetisirte und diëlektrisch polarisirte Körper ein Bestreben haben müssten, sich in Richtung der sie durchziehenden Kraftlinien zusammenzuziehen, dagegen sich quer gegen die Richtung dieser Linien zu dehnen. Er erkannte dann mittels der wunderbar klaren und lebhaften Intuition, die er sich von diesen Vorgängen gebildet hatte, dass dieses System von Spannungen in der einen und Druck in den anderen Richtungen, welches den ganzen Raum rings um elektrisirte und magnetisirte oder von

Digitized by Google

elektrischen Strömen durchflossene Körper durchsetzt, im Stande ist, alle Erscheinungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Anziehung, Abstossung und Induction zu erklären, ohne dass man überhaupt auf Kräfte zurückzugehen braucht, die unmittelbar in die Ferne wirken. Dies war der Theil seines Weges, wo so wenige ihm folgen konnten. Es war ein Clerk Maxwell nöthig, ein zweiter Mann von derselben Tiefe und Selbständigkeit der Einsicht, um in den normalen Formen des systematischen Denkens das grosse Gebäude auszuführen, dessen Plan Faraday in seinem Geiste entworfen hatte, welches er klar vor sich sah und welches er sich bemühte, seinen Zeitgenossen sichtbar zu machen.

Es wird kaum bestritten werden können, dass diese neue Theorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen, deren Urheber Faraday war und die von Maxwell ausgearbeitet worden ist, in sich selbst vollkommen consequent, in genauer und vollständiger Uebereinstimmung mit allen bekannten Beobachtungsthatsachen ist, und dass sie in keiner ihrer Forderungen in Widerspruch mit den fundamentalen Axiomen der Dynamik tritt, welche sich bisher als ausnahmslos gültige Gesetze für alle bekannten Naturerscheinungen erwiesen haben; ich meine besonders das Gesetz von der Erhaltung der Kraft und das Gesetz von der Gleichheit der Action und Reaction. Eine Bestätigung von ganz besonderer Wichtigkeit erhält die genannte Theorie noch dadurch, dass, wie Maxwell nachwies, genau dieselben Eigenschaften des imponderablen raumfüllenden Medium, welche ihm beigelegt werden mussten, um die Erscheinungen der Elektricität und des Magnetismus zu erklären, auch das Entstehen und die Verbreitung von elektrischen und magnetischen Oscillationen möglich machen, die wie Lichtschwingungen quer gegen den Strahl gerichtet, mit der gleichen Geschwindigkeit, wie das Licht, sich fortpflanzen müssen. Elektricität, Magnetismus und Licht würden danach nur verschiedene Zustände und Bewegungen desselben Medium sein. Zu erwähnen ist, dass verschiedene Theile der Theorie des Lichts sich leichter und einfacher aus dieser neuen Hypothese herleiten lassen, als aus der älteren Form der Undulationstheorie von Huyghens, welche dem Lichtäther die Eigenschaften eines festelastischen Körpers zuschreibt.

Indessen haben die Anhänger unmittelbarer Wirkung in die Ferne noch nicht aufgehört, nach entsprechenden Lösungen des elektromagnetischen Problems zu suchen. Schon Ampère hatte

Digitized by Google

die Bewegungskräfte, welche zwei von elektrischen Strömen durchflossene Drähte auf einander ausüben, in sehr geistreicher und findiger Weise auf anziehende und abstossende Fernkräfte zurückgeführt, die aber nicht als zwischen je zwei Punkten der Leiter wirkend dargestellt werden konnten, sondern als wirkend zwischen kleinsten Längenelementen der Leiter. Denn ihre Stärke musste in ziemlich verwickelter Weise als Function der Winkel dargestellt werden, welche die Richtung der beiden wirkenden Stromstücke theils mit ihrer gemeinsamen Verbindungslinie, theils mit einander bilden. Ampère selbst kannte die inducirten elektrischen Ströme noch nicht. Aber auch die Gesetze dieser letzteren konnten mit Hülfe seines Gesetzes abgeleitet werden, wenn man die von Faraday experimentell gefundene Regel benutzte, dass die durch Bewegung von Magneten oder Stromleitern inducirten Ströme immer dieser Bewegung widerstehen. Die allgemeine mathematische Formulirung des daraus herfliessenden Gesetzes für die Stärke der inducirten Ströme verdanken wir Herrn F. E. Neumann (in Königsberg). Auch dieses Gesetz, da es aus dem von Ampère abgeleitet war, ging nicht zurück auf Wirkungen von Punkt zu Punkt, sondern auf Wirkungen von Längenelementen der Stromleiter auf einander. Letztere sind verglichen mit ersteren natürlich immer noch als höchst zusammengesetzte Gebilde zu betrachten. Ich selbst habe verschiedene mathematische Abhandlungen über dieses unter dem Namen des Potentialgesetzes bekannt gewordene Neumann'sche Gesetz veröffentlicht, welches in etwas verallgemeinerter Form ausgesprochen, in viel einfacherer und viel umfassenderer Weise als Ampère's ursprüngliches Gesetz die sämmtlichen Erscheinungen geschlossener Ströme mit den Thatsachen übereinstimmend und quantitativ genau darstellte, wie sich ganz allgemein zeigen liess. Ueber die meist ausserordentlich schwachen elektrodynamischen Wirkungen ungeschlossener Ströme, d. h. solcher, die zur Ansammlung von Elektricität an einzelne Stellen der Leiter führen, war zur Zeit noch sehr wenig bekannt. Ich konnte nachweisen, dass auf diese Fälle angewendet, das Potentialgesetz wenigstens nirgends in Widerspruch mit den allgemeinen Axiomen der Mechanik führe. Darin lag meines Erachtens ein grosser und wesentlicher Vorzug des Neumann'schen Gesetzes allen anderen bekannt gewordenen Hypothesen über elektrische Fernkräfte gegenüber. Von Faraday's Annahmen unterschied es sich dadurch, dass es elektrodynamische Wirkungen nur den in den Leitern vor-

Digitized by Google

gehenden elektrischen Strömungen zuschreibt, und die diëlektrischen Ladungen, welche in den zwischen den Leitern liegenden Isolatoren entstehen, nicht als elektrodynamisch wirksam betrachtet.

Der Zweck meiner mathematischen Arbeiten in diesem Gebiete war gewesen zu finden, in welcher Richtung Versuche angestellt werden müssten, um zwischen den verschiedenen möglichen Theorien zu entscheiden. Es gelang mir, einen solchen Versuch über die Elektricität, die sich an der Oberfläche eines im magnetischen Felde rotirenden Leiters sammelt, auszuführen [1]).

Dieser Versuch entschied für Faraday, und liess sich mit dem Potentialgesetz nur durch die Annahme vereinigen, dass die in den Isolatoren zwischen zwei sich ladenden Leitern zu Stande kommende diëlektrische Polarisation eine elektrische Bewegung ist, die dem jene Leiterstücke ladenden Strome äquivalente Intensität und äquivalente elektrodynamische Wirkung hat.

Andere Physiker, und zwar Männer von hervorragender Bedeutung, haben versucht, die elektrodynamischen Erscheinungen aus der Annahme von Fernkräften herzuleiten, die zwischen je zwei Quantis der hypothetischen elektrischen Fluida wirken sollten, deren Intensität aber nicht allein von deren Entfernung, sondern auch von deren Geschwindigkeiten und Beschleunigungen abhängig sein sollte. Am meisten bekannt geworden ist unter dieser Classe von Theorien die von Herrn W. Weber (Göttingen); eine andere fand sich in den nachgelassenen Papieren des genialen Mathematikers Riemann, eine dritte ist kürzlich von Herrn Clausius (Bonn) veröffentlicht worden. Alle diese Theorien ergeben die Phänomene geschlossener Ströme vollkommen richtig und übereinstimmend, aber sie kommen andererseits alle in Widerspruch mit den allgemeinen Axiomen der Dynamik, wenn man sie auf ungeschlossene Ströme anwendet.

Die Weber'sche Hypothese lässt das Gleichgewicht der Elektricität als labil erscheinen in jedem Leiter von mässiger Ausdehnung nach drei Dimensionen und lässt es als möglich erscheinen, dass unendlich grosse Arbeitsäquivalente aus endlichen körperlichen Massen entwickelt werden können. Ich finde nicht, dass die Einwürfe, die in dieser Beziehung von den Herren W. Thomson und P. G. Tait vorgebracht und von mir selbst im

---

[1]) Poggendorff's Annalen Bd. 158, S. 87. — Meine wissenschaftliche Abhand. Bd. I. S. 774. Leipzig 1882.

Digitized by Google

Einzelnen durchgeführt wurden, durch die darüber geführte Polemik entkräftet worden sind. Es ist deshalb auch keiner der Vertheidiger des Weber'schen Gesetzes im Stande gewesen, brauchbare Gesetze für die Bewegung der Elektricität in körperlich ausgedehnten Leitern aus demselben abzuleiten, welche sich aus den anderen nicht mit demselben Fehler behafteten Gesetzen leicht ergeben. Die Hypothese von Riemann, welche dieser, wie bemerkt, nicht selbst veröffentlicht hat, leidet an demselben Fehler und ist gleichzeitig im Widerspruch mit Newton's Axiom von der Gleichheit der Action und Reaction. Die Hypothese von Herrn Clausius vermeidet den gegen die Weber'sche zu erhebenden Einwurf, aber nicht den zweiten, und ihr Autor hat selbst zugegeben, dass, um sie davon zu befreien, man ein raumfüllendes Medium annehmen müsste, zwischen welchem einerseits und den Elektricitäten andererseits die Kräfte wirksam werden müssten, die er annimmt. So werden wir auch von dieser Seite wieder auf die Mitwirkung eines Medium zurückgewiesen.

So möchte die gegenwärtige Entwicklung dieses Zweiges der Theorie kaum noch einen anderen Ausweg übrig lassen, als Faraday's Annahme und scheint demgemäss die Hoffnung auf die endliche Vereinigung der entgegengesetzten Ansichten unter dieser Hypothese nahe zu rücken. Faraday's Annahme ist nämlich zur Zeit die einzige, die mit allen beobachteten Thatsachen zusammenstimmt und die durch keine ihrer Folgerungen in Widerspruch mit den allgemeinen Grundsätzen der Dynamik tritt.

Clerk Maxwell hat diese Theorie wesentlich nur für die Wirkungen geschlossener leitender Kreise durchgeführt. Ich habe in den letzten Jahren mich auch mit den Folgerungen beschäftigt, die sich für nicht zum Kreise geschlossene Leiter ergeben, und habe mich schon überzeugt, dass die Theorie im Einklang ist mit den wenigen bisher in dieser Richtung gesammelten Thatsachen. Zu diesen rechne ich 1. die oscillatorische Entladung eines Condensators durch eine Drahtspirale; 2. meine eigenen Versuche über die elektrische Ladung der Oberfläche rotirender Leiter im magnetischen Felde; 3. Herrn Rowland's Beobachtungen über die elektromagnetische Wirkung rotirender Scheiben, die mit Elektricität einer Art beladen sind.

Die entscheidende Annahme, welche der Faraday'schen Theorie zu Grunde liegt und welche allen Widerstreit der verschiedenen Theorien hebt, ist die vorher schon bezeichnete, wo-

Digitized by Google

nach in allen zwischen den Leitern liegenden Isolatoren, wenn die begrenzenden Leiter sich elektrisch laden, diëlektrische Polarisation entsteht und zwar in solcher Stärke, dass die mit der Herstellung dieses Zustandes verbundene Bewegung der Elektricitäten als eine äquivalente Fortsetzung des die Leiter ladenden elektrischen Stromes angesehen werden kann. Machen wir diese Annahme, so giebt es nur geschlossene Ströme und für geschlossene Ströme führen alle die verschiedenen genannten Theorien zu denselben Resultaten.

Wenn aber diese Annahme gemacht wird, so folgt auch weiter, dass die Wirkung der etwa noch angenommenen unmittelbaren Fernkräfte verschwinden muss gegen die der diëlektrischen und magnetischen Spannungen in den Isolatoren, beziehlich im raumfüllenden Aether.

Faraday's Hypothese setzt also das Zustandekommen bestimmter Veränderungen, magnetischer und diëlektrischer Polarisirung in den von elektrischen und magnetischen Kraftlinien durchzogenen Theilen des Raumes voraus, die wir wenigstens so weit direct beobachten können, als sich in verschiedenen Substanzen Differenzen ihrer Intensität zeigen. Daneben erscheinen die weiter gehenden Hypothesen, die wir uns etwa über das eigentliche Wesen der Elektricität und des Magnetismus bilden können, verhältnissmässig indifferent. Wir brauchen uns zunächst für keine derselben zu entscheiden. Faraday selbst vermied als echter Naturforscher so viel, wie möglich, irgend eine positive Behauptung über dies Problem hinzustellen, obgleich er andererseits seine Abneigung, an die Existenz zweier entgegengesetzter elektrischer Fluida zu glauben, nicht verhehlte.

Da ich nun aber zur Besprechung der elektrochemischen Vorgänge übergehen will, müssen wir wenigstens eine Uebereinkunft über die Ausdrucksweise treffen, in der ich Ihnen die Vorgänge darzustellen habe. Wir werden hauptsächlich von elektrischen Quantis zu reden haben, und deren Beziehungen lassen sich in der Sprache der alten dualistischen Theorie, wonach die beiden entgegengesetzten Elektricitäten zwei imponderable Flüssigkeiten sind, am leichtesten und bestimmtesten ausdrücken. Sie ist ausserdem die bekannteste Vorstellungsweise, und ich bitte deshalb um die Erlaubniss, in der Sprache dieser Theorie zu Ihnen reden zu dürfen. Uebrigens will ich versuchen, Faraday so gut, wie möglich, nachzuahmen, indem ich mich sorgfältig im Bereich der Thatsachen zu halten und zu vermeiden

Digitized by Google

suchen werde, dass das, was in der Hypothese als kurz zusammenfassender Ausdruck der Erscheinungen bildlich ausgedrückt ist, unberechtigten Einfluss auf unsere Vorstellung von den Thatsachen gewinne. Wenn wir die beiden Elektricitäten als Substanzen von entgegengesetztem Zeichen darstellen, so ist dies eben nur ein kurzer Ausdruck derjenigen Thatsachen, welche zeigen, dass niemals eine Quantität positiver Elektricität auftritt oder verschwindet, ohne dass gleichzeitig und in unmittelbarer Nähe eine gleich grosse Quantität negativer Elektricität auftritt oder verschwindet. Jedes Quantum für sich ist unzerstörbar und unvermehrbar, wie eine Substanz; nur dadurch, dass es sich mit dem gleichen Quantum entgegengesetzter Elektricität vereinigt, verschwindet es wenigstens für unsere Wahrnehmung.

Der ursprüngliche Begriff einer Substanz ist wohl zu unterscheiden von dem der Materie oder eines Stoffes. Substanz ist nur, *quod substat*, was hinter den wechselnden Erscheinungen quantitativ unveränderlich bleibt und in diesem ältesten weiteren Sinne des Worts würden wir jedenfalls die beiden Elektricitäten Substanzen nennen können, selbst wenn sie nicht von stofflicher Natur wären.

Ich sehe sehr wohl ein, dass diese alte dualistische Hypothese eine recht verwickelte und künstliche Maschinerie zur Erklärung der Erscheinungen aufstellt, und dass die mathematische Sprache Clerk Maxwell's die Gesetze der Thatsachen einfach und genau richtig mit einem viel geringern Aufwand hypothetischer Annahmen ausdrückt. Aber um nachzuweisen, dass die Grösse, welche in Maxwell's Theorie die Quantität der Elektricität vertritt, die Unveränderlichkeit einer Substanz zeigen müsse, wäre eine vollständige Auseinandersetzung dieser Theorie nöthig, welche ohne Anwendung mathematischer Symbole nicht leicht zu geben und vielleicht auch nicht leicht zu verstehen wäre. Es ist wahrscheinlich auch in diesem Umstand der Grund zu suchen, warum sich die Maxwell'sche Theorie bisher noch so geringer Verbreitung in wissenschaftlichen Kreisen zu erfreuen hat.

Von den beiden älteren Theorien der Elektricität ziehe ich die dualistische vor, obgleich sie zwei imponderable Fluida statt eines solchen annimmt, weil sie die thatsächliche Symmetrie zwischen der positiven und negativen Seite der elektrischen Erscheinungen im Ausdrucke bewahrt. Dieser Symmetrie wegen behalte ich auch die gewöhnlich gemachte Annahme bei, dass in jeden ponderablen Träger der Elektricität immer so viel negative Elektricität eintritt, als positive austritt, und umgekehrt. In der

Digitized by Google

That kennen wir noch keine Thatsachen, die als eine Wirkung der Aenderung der gesammten neutralen Elektricität eines Körpers angesehen werden könnten. Zum Zwecke einer elektrochemischen Theorie, die wir zunächst zu verfolgen haben werden, ist auch die dualistische Hypothese viel geschickter als die unitarische, welche die Kräfte der negativen Elektricität direct der ponderablen Masse beilegt.

Ich gehe nun zu dem zweiten fundamentalen Problem über, dessen Aufhellung Faraday vorschwebte, nämlich dem Zusammenhange zwischen elektrischen und chemischen Kräften.

Schon ehe Faraday seine Arbeiten begann, hatte Berzelius eine elektrochemische Theorie aufgestellt und darin das Band gefunden, welches alle seiner Zeit bekannten chemischen Thatsachen in das umfassende System zu verknüpfen erlaubte, dessen Ausarbeitung das grosse Werk seines Lebens war. Sein Ausgangspunkt hierbei war die von Volta für die Metalle aufgestellte Spannungsreihe gewesen. Diese Reihe ist bekanntlich so geordnet, dass jedes Metall bei der Berührung mit jedem vorausgehenden sich negativ, mit jedem folgenden sich positiv ladet. Den Anfang oder das positive Ende der Reihe bilden die leicht verbrennlichen Metalle, das andere negative Ende dagegen die schwer oxydirbaren oder edlen Metalle. Je weiter zwei Metalle in der Reihe von einander entfernt sind, desto stärkere elektrische Ladungen nehmen sie in gegenseitiger Berührung an, und daraus folgt wieder, dass solche weit von einander abweichende Körper sich eben wegen dieser elektrischen Ladungen um so stärker anziehen und um so stärker bei molecularer Berührung an einander fest haften müssen. Dieselbe Fähigkeit, sich gegenseitig elektrisch zu erregen, schrieb Berzelius auch allen anderen Elementen zu; er ordnete sie dem entsprechend, wie Volta es mit den Metallen gethan, in eine Spannungsreihe, an deren positives Ende er Kalium, Natrium, Barium, Calcium und ähnliche basische Stoffe setzte, während am negativen Ende sich Sauerstoff, Chlor, Brom u. s. w. fanden. Zwei Atome von verschiedenen Elementarstoffen sollten bei ihrer Berührung sich elektrisch laden; indessen waren die Vorstellungen von Berzelius über die Vertheilungsweise der entgegengesetzten Elektricitäten in den Molekeln und die daraus gezogenen Folgerungen über die Grösse der Anziehungskräfte nicht besonders bestimmt oder klar, und möchten sich kaum mit den damals schon von Green und Gauss entwickelten allgemeinen Gesetzen

Digitized by Google

der elektrischen Fernwirkungen vereinigen lassen. Ein wesentlicher Zug in seinen Vorstellungen war die später durch Faraday's Versuche widerlegte Voraussetzung, wonach die Menge der Elektricität, die sich in jedem der beiden verbundenen Atome ansammelte, von der Grösse ihres elektrochemischen Gegensatzes bedingt sein sollte. Davon sollte dann die verschiedene Stärke ihrer gegenseitigen Anziehung und somit die Grösse ihrer chemischen Verwandtschaft abhängen. Daraus ergab sich wiederum nothwendig seine Annahme, dass die chemischen Verbindungen überwiegend binär zusammengesetzt seien. Zwei Elementarstoffe, der eine als positiver, der andere als negativer Bestandtheil, konnten sich mit einander zu einer Verbindung erster Ordnung, einer Basis oder Säure vereinigen; zwei Verbindungen erster Ordnung wieder zu einer solchen zweiter Ordnung, einem Salze, wenn der positive Bestandtheil der Basis mit den gleichnamigen aber schwächer positiven der Säure noch neue Quanta Elektricität auswechselte. Andererseits liess Berzelius ein Atom eines positiven Elements sich nicht nur mit einem Atom eines negativen, sondern auch mit zwei, drei bis sieben solchen direct vereinigen. Es sind dies gerade diejenigen Annahmen in seiner Theorie, welche die neuere Chemie gänzlich verworfen hat. Dennoch liegt unverkennbar ein Kern von Wahrheit seinen Anschauungen zu Grunde. In der That haben die Chemiker, trotz aller Abweichungen des modernen Systems, nicht aufgehört, von positiven und negativen Bestandtheilen einer Verbindung zu sprechen. Es ist nicht zu verkennen, dass ein solcher Gegensatz der Eigenschaften, wie ihn Berzelius in dieser Theorie durchzuführen versuchte, wirklich besteht und zwischen den Endgliedern der Reihe sehr stark ausgesprochen ist, während er allerdings in den mittleren Gliedern weniger deutlich hervortritt; auch nicht, dass dieser Gegensatz eine wichtige Rolle in allen chemischen Vorgängen spielt, wenn er auch oft durch andere Nebeneinflüsse verdeckt und überwunden wird.

Die Vorgänge bei der Elektrolyse der chemischen Verbindungen erschienen natürlich auch Berzelius und seinen Anhängern als eine Hauptstütze der elektrochemischen Theorie. Als nun Faraday sich zur Untersuchung dieser Vorgänge wandte, stellte er sich eine sehr einfache Frage, eine solche, die billiger Weise jeder Chemiker, der über Elektrolyse theoretisirte, vor allen andern hätte zu beantworten suchen sollen. Es war die Frage nach der Quantität der Zersetzungsproducte, die durch

Digitized by Google

einen elektrischen Strom von bestimmter Stärke in gegebener Zeit gewonnen werden konnten. Seine Versuche über diesen Punkt führten ihn sogleich zu dem höchst bedeutsamen Gesetz, welches unter seinem Namen bekannt geworden ist und welches er selbst als das Gesetz von der bestimmten elektrolytischen Wirkung (law of definite electrolytic action) bezeichnete.

Als er seine Versuchsreihen begann, waren weder Daniell's, noch Grove's constante galvanische Batterieelemente bekannt, man hatte keinerlei Mittel, hydroelektrische Ströme von constant bleibender Intensität herzustellen, und ebenso unentwickelt waren die Methoden, diese Intensität zu messen. Dies muss seinen Vorgängern zur Entschuldigung gereichen. Faraday selbst umging diese Schwierigkeit, indem er einen und denselben Strom gleichzeitig durch zwei oder mehrere Zersetzungszellen hinter einander gehen liess. Zuerst wies er nach, dass die Form und Grösse der Zelle, die Grösse der Oberflächen der zuleitenden Metallplatten und deren Abstand von einander ohne merklichen Einfluss auf den Betrag der Zersetzung sind. Zellen, die dieselbe zersetzbare Flüssigkeit zwischen Platten desselben Metalls enthielten, gaben immer dieselbe Menge der gleichen Zersetzungsproducte, wenn der gleiche galvanische Strom gleich lange Zeit durch sie hindurchgegangen war. Nachdem dies festgestellt war, verglich er Zellen, die verschiedene Elektrolyte enthielten, und fand, dass in ihnen chemisch genau äquivalente Mengen der verschiedenen Elemente entweder ausgeschieden oder in andere Verbindungen übergeführt wurden.

Faraday schloss daraus, dass ein bestimmtes Quantum Elektricität eine Zelle, die angesäuertes Wasser zwischen Platinelektroden enthält, nicht passiren kann, ohne an der negativen Elektrode eine entsprechende bestimmte Menge von Wasserstoff und an der positiven Elektrode die äquivalente Menge Sauerstoff frei zu machen, je ein Atom des letzteren auf je zwei Atome des ersteren. Wenn statt des Wasserstoffs irgend ein anderes Element, welches Wasserstoff in seinen Verbindungen ersetzen kann, in einer zweiten Zelle ausgeschieden wird, so geschieht dies in einer Menge, welche genau äquivalent ist dem gleichzeitig ausgeschiedenen Wasserstoff. Wenn wir diese Thatsachen von dem Standpunkte der modernen chemischen Valenztheorie ansehen, wonach die Atome verschiedener Elementarstoffe, je nach ihrem Valenzwerthe, entweder einem, oder zweien, dreien oder vier Atomen Wasserstoff äquivalent sind, so können wir Faraday's Gesetz

Digitized by Google

so aussprechen, dass dieselbe Menge Elektricität, wenn sie durch irgend einen Elektrolyten fliesst, immer dieselbe Menge von Valenzwerthen an beiden Elektroden entweder frei macht, oder in andere Verbindungen überführt.

So scheidet z. B. derselbe Strom 2 H aus, oder 2 K, oder 2 Na, oder ein Ba, Ca oder Zn. Derselbe würde ein Cu aus Cuprisalzen, dagegen [Cu + Cu] aus Cuprosalzen scheiden.

Die einfachen oder zusammengesetzten Salzbildner, die sich an der andern Elektrode ausscheiden, sind natürlich der Menge des basischen Elements äquivalent, mit welchem sie vorher verbunden waren.

Nach den oben erwähnten theoretischen Ansichten von Berzelius hätten die Quanta entgegengesetzter Elektricitäten, die sich an der Verbindungsstelle zweier Atome anhäufen, mit der Stärke ihrer Verwandtschaft wachsen sollen. Faraday's Versuch zeigte, dass das Gegentheil der Fall war, wenigstens für diejenigen Mengen von Elektricität, die bei der elektrolytischen Zersetzung zum Vorschein kommen. Deren Betrag zeigte sich als gänzlich unabhängig von der Stärke der Verwandtschaft. Es war dies ein verhängnissvoller Schlag für die Theorie von Berzelius.

Seit jener Zeit haben unsere Versuchsmethoden und unsere Kenntnisse über die Gesetze der elektrischen Vorgänge gewaltige Fortschritte gemacht, und eine grosse Anzahl von Hindernissen ist entfernt, welche sich bei jedem Schritt vor Faraday's Füsse legten, und ihn ausserdem zwangen, fortdauernd gegen verwirrte Vorstellungen und unbegründete Theorien einzelner seiner Zeitgenossen zu kämpfen. Das ursprüngliche Voltameter Faraday's, womit er die Menge der bei der Wasserzersetzung entwickelten Gase maass, um dadurch die Intensität des galvanischen Stromes zu messen, ist durch das viel genauere Silber-Voltameter von Poggendorff ersetzt worden, in dem Silber aus einer Lösung seines salpetersauren Oxyds auf ein Platinstreifchen niedergeschlagen wird, wobei eine sehr genaue Wägung der abgeschiedenen Menge möglich wird. Wir haben jetzt Galvanometer, die nicht bloss das Vorhandensein eines galvanischen Stromes anzeigen, sondern auch seine Intensität, mag sie gross oder klein sein, sehr genau durch die Grösse der elektromagnetischen Wirkung mittels einer in wenig Secunden ausführbaren Beobachtung zu messen gestatten. Wir haben Elektrometer, wie das Quadrant-Elektrometer von Sir W. Thomson, mit dem man ein Hunderttheil von der

Digitized by Google

Spannungsdifferenz einer Daniell'schen Zelle messen kann; und wir können sagen, dass, je mehr die Untersuchungsmethoden verfeinert wurden, desto mehr die Richtigkeit und ausgedehnteste Giltigkeit von Faraday's Gesetz sich bestätigte.

Im Anfange brachten die Anhänger von Volta's Contacttheorie der galvanischen Wirkungen und von Berzelius' elektrochemischer Theorie mancherlei Einwände vor. Diese beruhten zum Theil darauf, dass die Empfindlichkeit der Galvanometer bald weit über diejenigen Grenzen der Feinheit hinausging, bis zu denen die chemische Analyse nachfolgen konnte. Dies wurde namentlich durch die Einführung von Nobili's astatischem Nadelpaar, von Schweigger's Multiplicator mit einer grossen Anzahl von Windungen eines sehr langen Kupferdrahtes und von Poggendorff's Ablesungsmethode der Bewegungen des Magneten mittels eines an ihm befestigten Spiegelchens erreicht. Mit unseren neuesten Galvanometern kann man noch ganz sicher und ohne Schwierigkeit Ströme beobachten, die ein oder anderthalb Jahrhunderte dauern müssten, um auch nur ein Milligramm Wasser zu zersetzen, die kleinste Menge, welche man bei chemischen Arbeiten noch abzuwägen pflegt. Wenn solch ein Strom nur einige Secunden oder Minuten gedauert hat, so ist natürlich nicht die entfernteste Aussicht da, seine chemischen Erzeugnisse nachweisen zu können. Und selbst, wenn er viel länger dauern sollte, kann die winzige Menge Wasserstoff, die er zur negativen Elektrode geführt hat, wieder verschwinden, weil einige Spuren atmosphärischen Sauerstoffs in der Flüssigkeit aufgelöst sind. Unter solchen Umständen kann ein schwacher, aber am Galvanometer noch deutlich wahrnehmbarer Strom unbestimmt lange Zeit hindurch fliessen, ohne eine sichtbare Spur chemischer Zersetzung hervorzubringen. Ja selbst die galvanische Polarisation, welche sonst jede vorausgegangene Zersetzung zu verrathen pflegt, kann fehlen. Galvanische Polarisation nennt man bekanntlich einen veränderten Zustand der Metallplatten, welcher zurückbleibt, nachdem dieselben als Elektroden bei der Zersetzung eines Elektrolyten gebraucht worden sind; dadurch sind dieselben nunmehr fähig geworden, selbständig einen Strom zu erregen, auch wenn sie vor ihrem Gebrauche als Elektroden in die Flüssigkeit getaucht, sich als vollkommen gleichartig und galvanisch unthätig erwiesen. Die Ursache dieses Zustandes ist wahrscheinlich darin zu suchen, dass elektrisch geladene Molekeln des Elektrolyten durch den Strom zu den metallischen Elektrodenflächen

Digitized by Google

hingeführt worden sind, und von diesen, die selbst wieder mit entgegengesetzter Elektricität geladen sind, durch elektrostatische Anziehung festgehalten werden. Dass wirklich chemische Bestandtheile des Elektrolyten an der Erzeugung galvanischer Polarisation mitbetheiligt sind, kann nicht wohl bezweifelt werden, da dieser Zustand auch durch rein chemische Mittel hervorgebracht und zerstört werden kann. So wird die durch elektrolytisch herangeführten Wasserstoff erzeugte Polarisation durch Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs wieder zerstört. Verbindet man die polarisirten Platten, während sie in der Flüssigkeit stehen bleiben, ohne Batterie mittels eines Galvanometers, so geben sie, wie schon gesagt, einen Strom, der durch die Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung geht, als der polarisirende Strom hindurchging, und die Polarisation wieder aufhebt, weshalb er als der depolarisirende Strom bezeichnet werden kann.

Fig. 19.



Dieser depolarisirende Strom ist nun in der That ein ausserordentlich feines Mittel, um die Spuren vorausgegangener Zersetzung zu entdecken. Aber selbst dies kann fehlschlagen, wenn die entstehende Polarisation durch die Zwischenkunft einer anderen chemischen Einwirkung zerstört wird, zum Beispiel durch aufgelösten atmosphärischen Sauerstoff. Um dies zu vermeiden, muss man feinere Versuche dieser Art in hermetisch verschlossenen Gefässen anstellen, aus denen alle Luft sorgfältig ausgetrieben ist.

Es ist mir neuerdings gelungen, dies in viel vollständigerer Weise als bisher mit Hülfe des in Fig. 19 abgebildeten und vollständig zugeschmolzenen Glasgefässes zu erreichen. Dasselbe enthält Wasser, säuerlich gemacht durch Schwefelsäure. Zwei Platindrähte *b* und *c*, welche in der Flüssigkeit frei enden, und ein dritter Platindraht, der im Innern des Gefässes mit einer Spirale aus Palladiumdraht verbunden ist, können als Elektroden gebraucht werden. Ehe die Röhre durch Zuschmelzen des oberen Endes verschlossen wurde, war sie mit einer Wasserluftpumpe verbunden und gleichzeitig wurde durch zwei Grove'sche Elemente Sauerstoff an den beiden Elektroden *a* und *b* entwickelt, während der entsprechende Wasserstoff vom Palladium occludirt wurde. In dieser Weise

wurde die Flüssigkeit unter niederem Druck mit elektrolytischem Sauerstoff ausgewaschen und von allen anderen Gasen gereinigt. Nachdem dann die Röhre unter Fortdauer dieses Vorgangs zugeschmolzen war, verbinden sich die darin enthaltenen kleinen Mengen von Sauerstoff langsam mit dem Wasserstoff des Palladiums wieder zu Wasser. Spuren von Wasserstoff, die etwa noch in den Drähten *b* und *c* enthalten sind, können durch eine schwach elektromotorische Kraft, die man Tage lang zwischen *b* und *c* einerseits und *a* andererseits wirken lässt, allmälig in das Palladium hinübergetrieben werden. Ja selbst frische Mengen der elektrolytischen Gase, die man nach dem Zuschmelzen der Röhre etwa noch entwickelt haben sollte, können wieder durch längere Einwirkung eines Daniell'schen Elements beseitigt werden, welches Wasserstoff gegen das Palladium führt, wo es occludirt wird, und Sauerstoff zu den Drähten *b* und *c*, wo sich dieser mit Wasserstoff verbindet, so lange noch Spuren dieses Gases in der Flüssigkeit aufgelöst sind. Der Rest von gelöstem Sauerstoff verbindet sich schliesslich am Palladium mit dem occludirten Wasserstoff.

Ich habe mich überzeugt, dass man mit einem solchen Apparate die Polarisation beobachten kann, welche in wenigen Secunden ein Strom erzeugt, der ein Jahrhundert brauchen würde, um ein Milligramm Wasser zu zersetzen.

Aber selbst wenn das Auftreten der Polarisation von den Gegnern der strengen Gültigkeit des elektrolytischen Gesetzes nicht als ein hinreichender Beweis vorhergegangener Zersetzung anerkannt werden sollte, so ist es gegenwärtig nicht schwer, die Angaben eines guten Galvanometers auf absolutes Maass zu reduciren und den Betrag der Zersetzung zu berechnen, der nach Faraday's Gesetz zu erwarten ist, und schliesslich sich zu überzeugen, dass in allen den Fällen, wo keine Producte der Elektrolyse entdeckt werden können, deren Betrag in der That zu klein für die Hülfsmittel unserer chemischen Analyse war.

Fortführung der Ionen. Producte der Zersetzung können an den Elektroden nicht erscheinen, ohne dass Bewegungen der den Elektrolyten zusammensetzenden chemischen Elemente in der ganzen Länge der durch die Flüssigkeit führenden Strombahn eingetreten sind. Ueber diesen Punkt war die Mehrzahl von Faraday's Vorgängern schon einig, aber über die Art dieser Bewegung machten sie sich sehr verschiedene Vorstellungen. Faraday erkannte sogleich die Wichtigkeit

Digitized by Google

dieser Frage und wandte sich wieder zum Versuch. Er füllte zwei Zellen mit derselben elektrolytischen Flüssigkeit und stellte zwischen beiden eine leitende Verbindung her durch einen mit eben derselben Flüssigkeit getränkten Docht aus Asbest, so dass er gesondert von einander die Quantität aller zu dem einen oder andern Ende der Leitung fortgeführten Bestandtheile der Flüssigkeit bestimmen konnte. Um die Richtung der Bewegung bestimmt zu bezeichnen, hat er bekanntlich eine sehr zweckmässige Terminologie eingeführt. Er bezeichnete die vom Strome fortgeführten Atome oder Atomgruppen mit dem griechischen Worte „Ion“, d. h. das Wandernde, und indem er den Strom positiver Elektricität mit einem von den Bergen kommenden Wasserstrom verglich, fasste er unter dem Namen „Kation“ (das Hinabwandernde) diejenigen Bestandtheile zusammen, die mit der positiven Elektricität sich bewegen, unter dem Namen „Anion“ (das Hinaufwandernde) dagegen, die mit der negativen Elektricität fortgehen. Das Kation wandert zur Kathode, d. h. zu derjenigen Elektrode, zu der die $+E$ der Flüssigkeit hinströmt, und das Anion zu Anode, von welcher dieselbe Elektricität in die Flüssigkeit einströmt. Die Kationen sind in der Regel in der chemischen Verbindung des Elektrolyten durch Wasserstoff ersetzbar, die Anionen sind einfache oder zusammengesetzte Halogene.

Diese Vorgänge sind namentlich durch Professor Hittorff zu Münster und Professor G. Wiedemann zu Leipzig eingehend und für eine grosse Anzahl elektrolytischer Processe untersucht worden. Sie fanden, dass gewöhnlich Anion und Kation mit verschiedener Geschwindigkeit durch die Flüssigkeit fortgeführt werden. Neuerdings hat für dieses Gebiet Professor F. Kohlrausch in Würzburg ein Gesetz von hervorragender Wichtigkeit entdeckt und nachgewiesen, dass nämlich in hinreichend verdünnten Lösungen von Salzen, einschliesslich der Hydrate von Säuren und kaustischen Alkalien, jedes Ion unter dem Einflusse gleichen Potentialgefälls, d. h. getrieben von gleich grosser elektrischer Kraft, sich mit einer ihm eigenthümlich zukommenden Geschwindigkeit fortbewegt, unabhängig davon, ob gleichzeitig andere Ionen sich in derselben oder in entgegengesetzter Richtung durch die Flüssigkeit fortbewegen.

Unter den Kationen hat Wasserstoff die grösste Geschwindigkeit der elektrolytischen Fortbewegung; dann folgen der Reihe nach Kalium, Ammonium, Silber, Natrium, ferner die zweiwerthigen Atome des Barium, Kupfer, Strontium, Calcium, Magnesium,

Digitized by Google

Zink; den letzteren nahe steht das einwerthige Lithium. Unter den Anionen ist Hydroxyl (OH) das erste, dann folgen die anderen einwerthigen Atome, Jod, Brom, Cyan, Chlor, die zusammengesetzten Halogene NO_3, ClO_3, die zweiwerthigen Halogene der Schwefelsäure und Kohlensäure, endlich Fluor und das Halogen der Essigsäure. Die einzige Ausnahme von der oben angegebenen Regel besteht darin, dass die Ionen, die an ein zweiwerthiges Ion entgegengesetzter Art gekettet sind, sich theilweise in der Flüssigkeit langsamer fortbewegen, als die, welche mit einem oder zwei einwerthigen verbunden sind. Die Erklärung hiervon könnte darin liegen, dass zum Beispiel bei der Elektrolyse der Schwefelsäure die Mehrzahl ihrer Atome SO_4H_2 in SO_4 und H_2 zerfallen, einige aber auch in SO_4H und H. Im letzeren Falle würden einige Wasserstoffatome mit dem Anion SO_4H rückwärts gehen und dadurch die mittlere Geschwindigkeit des zur Kathode wandernden Wasserstoffs vermindert erscheinen.

Wenn beide Ionen sich fortbewegen, so werden wir an jeder Elektrode als ausgeschieden vorfinden 1. denjenigen Theil des hier ausscheidenden Ion, der durch die Elektrolyse herangeführt ist, 2. einen zweiten Theil, der durch Fortführung des entgegengesetzten Ion isolirt worden ist. Der Gesammtbetrag der chemischen Bewegung in jedem Querschnitt der Flüssigkeit ist demzufolge gegeben durch die Summe der Aequivalente des Kation, die stromabwärts, und des Anion, die stromaufwärts hindurchgegangen sind, gerade so, wie in der dualistischen Theorie der Elektricität die gesammte durch einen Querschnitt des Leiters fliessende Elektricität berechnet werden muss als die Summe der positiven Elektricität, die vorwärts, und der negativen, die rückwärts hindurchfliesst.

Wir können nunmehr Faraday's Gesetz so aussprechen, dass durch jeden Querschnitt eines elektrischen Leiters wir immer äquivalente elektrische und chemische Bewegung haben. Genau dieselbe bestimmte Menge, sei es positiver, sei es negativer Elektricität bewegt sich mit jedem einwerthigen Ion, oder mit jedem Valenzwerth eines mehrwerthigen Ion, und begleitet es unzertrennlich bei allen Bewegungen, die dasselbe durch die Flüssigkeit macht. Diese Quantität können wir die elektrische Ladung des Ion nennen.

Ich bitte zu bemerken, dass wir bisher nur von beobachtbaren Erscheinungen gesprochen haben. Die Bewegung der Elektricität kann für den ganzen Querschnitt jedes Leiters gemessen

Digitized by Google

und sogar für jedes verschwindend kleine Flächenelement im Innern des Leiters durch wohlbegründete theoretische Betrachtungen bestimmt werden. Dasselbe gilt für die Fortführung der chemischen Bestandtheile des Elektrolyten. Die Aequivalente der chemischen Elemente und die der entsprechenden elektrischen Quanta sind Zahlen, die durchaus nur beobachtbare gesetzliche Verhältnisse angeben. Dass die festen Verhältnisszahlen der chemischen Verbindungen auf der Präexistenz unzerstörbarer Atome beruhen, mag hypothetisch erscheinen; zur Zeit kennen wir aber noch keine hinreichend klare und entwickelte andere Theorie, die die Beobachtungsthatsachen der Chemie so einfach und folgerichtig zu erklären im Stande wäre, wie die atomistische Theorie der neueren Chemie.

Auf die elektrischen Vorgänge übertragen, führt diese Hypothese in Verbindung mit Faraday's Gesetz allerdings auf eine etwas überraschende Folgerung. Wenn wir Atome der chemischen Elemente annehmen, so können wir nicht umhin, weiter zu schliessen, dass auch die Elektricität, positive sowohl wie negative, in bestimmte elementare Quanta getheilt ist, die sich wie Atome der Elektricität verhalten. Jedes Ion muss, so lange es sich in der Flüssigkeit bewegt, mit je einem elektrischen Aequivalent für jeden seiner Valenzwerthe vereinigt bleiben. Nur an den Grenzflächen der Elektroden kann eine Trennung eintreten; wenn dort eine hinreichend grosse elektromotorische Kraft wirkt, dann können die Ionen ihre bisherige Elektricität abgeben und elektrisch neutral werden.

Dasselbe Atom kann in verschiedenen Verbindungen mit elektrischen Aequivalenten von entgegengesetztem Zeichen beladen sein. Schon Faraday hat den Schwefel als eines der Elemente bezeichnet, welches entweder als Anion oder als Kation auftreten kann. Er ist Anion in geschmolzenem Schwefelsilber, Kation vielleicht in concentrirter Schwefelsäure. Später wurde Faraday in letzterem Punkte zweifelhaft, da die Ausscheidung von Schwefel aus Schwefelsäure vielleicht auf einer secundären Zersetzung beruhen könnte. Das wirkliche Kation könnte Wasserstoff sein, welcher sich mit dem Sauerstoff der Säure vereinigen und den Schwefel aus der Verbindung herausdrängen könnte. Aber selbst, wenn dies der Fall wäre, müsste doch der sich mit Sauerstoff wieder verbindende Wasserstoff in dem neu gebildeten Wasser seine positive Ladung behalten und nur der elektrisch neutral ausscheidende Schwefel würde Aequivalente positiver Elektricität

Digitized by Google

an die Kathode abgeben können. Er muss also in der Verbindung mit Sauerstoff in der That positive Ladung haben. Dieselbe Betrachtung kann auf eine grosse Anzahl anderer Beispiele angewendet werden. Jedes Atom, beziehlich jede Atomgruppe, die bei einer secundären Zersetzung für ein Ion substituirt werden kann, muss fähig sein, die frei werdenden Aequivalente der entsprechenden Elektricität abzugeben.

Wenn die vorher positiv geladenen Atome von Wasserstoff oder irgend einem anderen Kation aus ihrer Verbindung ausscheiden und sich gasförmig entwickeln, so ist das entwickelte Gas elektrisch neutral, d. h. es enthält nach der Ausdrucksweise der dualistischen Theorie gleiche Quanta positiver und negativer Elektricität. Entweder also ist jedes einzelne Atom elektrisch neutral, oder je ein Atom, welches positiv beladen bleibt, verbindet sich mit je einem Atom, welches seine positive Ladung mit einer negativen ausgetauscht hat. Diese letztere Annahme stimmt überein mit der aus Avogadro's Gesetz gezogenen Folgerung, dass die Molekeln des freien Wasserstoffs aus je zwei Atomen zusammengesetzt sind[1]).

Nun entsteht die Frage, ob die eben besprochenen Beziehungen zwischen Elektricität und chemischer Zusammensetzung, die wir aus dem Mechanismus der Elektrolyse hergeleitet haben, nur auf diejenige Klasse von Verbindungen einzuschränken sind, die wir als Elektrolyte kennen, oder nicht. Wenn es sich darum handelt, einen hinreichend starken galvanischen Strom hervorzubringen, so dass man genügende Mengen der elektrolytischen Producte zur Constatirung ihrer chemischen Natur ansammeln kann, ohne doch zu viel Wärme in dem Elektrolyten zu erzeugen, so müssen wir uns auf solche Substanzen beschränken, die dem elektrischen Strom keinen zu grossen Leitungswiderstand entgegensetzen. Aber selbst bei dem allergrössten Widerstande, wo die Bewegung der Ionen ausserordentlich langsam wird, und wir vielleicht Hunderte von Jahren brauchen würden, um erkennbare Spuren der Zersetzungsproducte zu sammeln, könnte doch der Vorgang der elektrolytischen Zersetzung mit allen seinen wesentlichen Merkmalen bestehen. In der That finden wir die allergrössten Verschiedenheiten des Leitungsvermögens in verschiedenen Flüssigkeiten. Für eine grosse Zahl derselben, bis zum destillirten

[1]) Molekeln, die aus je einem bivalenten Atome bestehen, wie die des Quecksilberdampfes, würden als beladen mit einem positiven und einem negativen Aequivalent E betrachtet werden können (1883).

Digitized by Google

Wasser und reinen Alkohol hinab, können wir den Durchgang des Stromes mit einem empfindlichen Galvanometer erkennen. Wenn wir uns aber zum Terpentinöl, Benzin und ähnlichen Substanzen wenden, so bleibt das Galvanometer unbewegt. Dennoch kann man erkennen, dass auch die letzteren Flüssigkeiten ein erkennbares Leitungsvermögen haben. Wenn man einen elektrisirten Conductor mit einer von zwei Elektroden verbindet, die in Terpentinöl stehen, und die andere mit der Erde, so erkennt man deutlich, dass der Leiter durch die Berührung mit dem Oel schneller seine Elektricität verliert, als wenn zwischen den beiden Elektroden nur Luft wäre.

Auch in diesem Falle dürfen wir die zurückbleibende Polarisation der Elektroden als ein Kennzeichen vorausgegangener Elektrolyse betrachten. Wenn man auf zwei homogene Platinelektroden in Terpentinöl eine Batterie von 8 Daniell 24 Stunden wirken lässt, dann die Batterie wegnimmt und die Elektroden mit einem Quadrantelektrometer verbindet, so wird man finden, dass die beiden Platinflächen sich nicht mehr gleich verhalten, sondern Sitz einer elektromotorischen Kraft geworden sind, welche die Nadel des Elektrometers ablenkt. Die Grösse dieser Polarisationskraft ist in einigen Beispielen von Herrn Picker im Berliner physikalischen Universitätslaboratorium bestimmt worden. Er hat z. B. gefunden, dass das Maximum der Polarisation im Alkohol um so kleiner ist, je weniger Wasser er enthält, und dass es im reinsten Alkohol, Aether und Terpentinöl ungefähr 0,3 Daniell, im Benzin aber 0,8 Daniell beträgt.

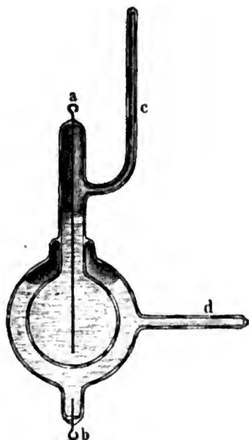
Ein anderes noch empfindlicheres Kennzeichen elektrolytischer Leitung besteht darin, dass Elektrolyte zwischen zwei verschiedene Metalle als Elektroden gebracht, auch ohne alle Temperaturdifferenzen elektromotorische Kräfte hervorrufen. Dies geschieht niemals bei der Verbindung bloss metallischer Leiter von gleicher Temperatur, überhaupt nicht bei Verbindungen solcher Leiter, welche die Elektricität leiten, ohne dadurch zersetzt zu werden. Zur Hervorrufung solcher elektromotorischer Kräfte können aber selbst eine grosse Menge fester Verbindungen dienen, obgleich sehr wenige unter ihnen hinreichend gut leiten, um dies am Galvanometer zu erkennen, und auch diese wenigen meist nur bei Temperaturen, die ihrem Schmelzpunkt ziemlich nahe liegen. Ich will nur an Zamboni's Säule erinnern, in der trockene Papierblättchen zwischen dünnsten Metallblättern eingeschaltet sind. Wenn man die Verbindung hinreichend lange

Digitized by Google

bestehen lässt, so bewirken selbst Glas, Harz, Schellack, Paraffin, Schwefel, also die besten Isolatoren, die wir überhaupt kennen, genau dasselbe. Es ist fast unmöglich, die Quadranten eines empfindlichen Elektrometers vor dieser langsam auftretenden Ladung durch die isolirenden Stützen des Apparates zu schützen.

In den hier erwähnten Fällen könnte man allenfalls noch den Verdacht hegen, dass an dem isolirenden Körper eine dünne Schicht Feuchtigkeit längs seiner Oberfläche hafte, und dass diese den elektrolytischen Leiter bilde. Ich will Ihnen deshalb hier diese kleine Daniell'sche Zelle (Fig. 20) zeigen, von Herrn Dr. Giese[1]) construirt, in welcher diese Deutung ausgeschlossen ist, und Glas als elektrolytischer Leiter functionirt. Die innere Abtheilung enthält Kupfervitriollösung, in welche ein unten galvanisch verkupferter Platindraht *a* hineinreicht. Der umgebende äussere Hohlraum enthält eine Lösung von Zinkvitriol und etwas Zinkamalgam, in welches letztere ein zweiter eingeschmolzener Platindraht *b* reicht. Die Röhren *c* und *d* haben zur Einfüllung der Flüssigkeiten gedient, und sind nachher zugeschmolzen, so dass beide Flüssigkeiten vollkommen hermetisch verschlossen und durch die innere Glaswand vollkommen von einander getrennt sind. Aussen sind beide Pole ganz symmetrisch gebildet; mit der Luft ist nur eine geschlossene Glasfläche in Berührung, durch welche zwei Platindrähte treten. Am Elektrometer geprüft, zeigt der kleine Apparat genau dasselbe Verhalten, wie ein Daniell'sches Element, dessen Leitungswiderstand nur sehr gross ist, und dies würde nicht der Fall sein können, wenn die Scheidewand aus Glas nicht als elektrolytischer Leiter in Betracht käme; denn eine metallische Scheidewand würde die Wirkung einer solchen Zelle durch ihre Polarisation gänzlich aufheben.

Fig. 20.



---

[1]) Wiedemann's Annalen Bd. 9, S. 205.

Digitized by Google

Diese Thatsachen zeigen also, dass elektrolytische Leitung durchaus nicht auf Salzlösungen und verdünnte Säuren beschränkt ist. Es wird indessen noch manche mühsame Untersuchung durchgeführt werden müssen, ehe man mit Bestimmtheit angeben kann, wie weit diese Art der Leitung verbreitet ist, und welches die Ionen in den verschiedenen Substanzen sind; darauf kann ich Ihnen heute noch keine positive Antwort geben. Mir kam es hier nur darauf an, Sie daran zu erinnern, dass die Fähigkeit eines Stoffes, durch elektrische Strömung zersetzt zu werden, durchaus nicht nothwendig mit einem kleinen Widerstande gegen den Durchgang der Elektricität verbunden ist. Die Substanzen mit gutem Leitungsvermögen bieten uns allerdings viel bequemere Bedingungen zum Studium dieser Vorgänge; was wir aber aus ihnen lernen, brauchen wir durchaus nicht auf die gewöhnlich gebrauchten elektrolytischen Flüssigkeiten zu beschränken.

Bis hierher haben wir uns nur mit den Bewegungen der wägbaren Massen sowohl, wie der elektrischen Quanta beschäftigt. Jetzt müssen wir auch nach den Kräften fragen, unter deren Einfluss diese Bewegungen zu Stande kommen. Auf den ersten Anblick muss es Jeden, der die gewaltige Macht der chemischen Kräfte und die grossen Beträge von Wärme und mechanischer Arbeit kennt, die sie hervorbringen können, verwundern, wie ausserordentlich klein andererseits die elektrische Anziehung an den Polen einer Batterie von 2 Daniells ist, die nichtsdestoweniger im Stande ist, Wasser zu zersetzen und dabei eine der mächtigsten chemischen Verwandtschaftskräfte zu überwältigen. Bei der Bildung von 1 kg Wasser aus Wasserstoff, der sich verbrennend mit Sauerstoff vereinigt, wird so viel Wärme erzeugt, dass diese durch eine Dampfmaschine in Arbeit verwandelt, dasselbe Gewicht auf eine Höhe von 1600000 m heben würde. Dagegen müssen wir die allerfeinsten elektromotorischen Apparate anwenden, um zu zeigen, dass ein Goldblättchen oder ein kleines Aluminiumblättchen, was an einem Coconfaden hängt, überhaupt nur durch die elektrische Anziehung der Batterie in Bewegung gesetzt wird. Die Lösung dieses Räthsels ergiebt sich aber, wenn wir die Quanta der Elektricität beachten, die mit den Atomen verbunden in Bewegung gesetzt werden.

Wenn wir das Quantum Elektricität, welches durch eine sehr kleine Menge Wasserstoff mitgeführt wird, nach seinen elektrostatischen Wirkungen messen, so ist es riesig gross. Faraday hat dies schon eingesehen, und in verschiedener Weise

Digitized by Google

versucht, wenigstens eine annähernde Bestimmung dieser Grösse zu erreichen. Er zeigte, dass selbst die mächtigsten aus Leydener Flaschen zusammengesetzten Batterien, durch ein Voltameter entladen, kaum sichtbare Spuren von Gas geben. Gegenwärtig können wir schon ziemlich bestimmte Zahlen anführen. Das elektrochemische Aequivalent der elektromagnetischen Einheit des galvanischen Stromes (1 Weber) ist zuerst von R. Bunsen, neuerdings von mehreren anderen Physikern bestimmt worden. Später wurde dann die sehr schwierige Vergleichung der elektromagnetischen und elektrostatischen Wirkungen derselben Elektricitätsmenge durch Professor W. Weber ausgeführt. Eine zweite Bestimmung derselben Grösse gab Cl. Maxwell im Auftrage der British Association[1]). Dadurch hat sich ergeben, dass die beiden Elektricitäten, mit denen die Ionen von 1 mg Wasser beladen sind, wenn sie getrennt und auf zwei Kugeln, 1 km von einander entfernt, übertragen wären, eine Anziehungskraft zwischen beiden hervorbringen müssten, die der Schwere von ungefähr 100 000 kg gleich wäre.

Vielleicht noch übersichtlicher wird dies, wenn wir die elektrische Anziehung in diesem Falle mit der Gravitation der ponderablen Träger der Elektricität vergleichen. Da beide Arten von Kräften nach dem gleichen Gesetze bei wachsender Entfernung der anziehenden Massen abnehmen, und beide der Grösse jedes der wirkenden Quanta proportional sind, so kann man die Vergleichung beider Kräfte unabhängig von der Entfernung und Masse machen. Wir finden, dass Wasserstoff und Sauerstoff des Wassers, wenn sie, ohne ihre elektrischen Ladungen zu verlieren, von einander getrennt werden könnten, eine Anziehung auf einander ausüben würden, gleich der Gravitation von Massen, die ihnen 400 000 Billionen Mal an Gewicht überlegen wären.

Bei unseren elektrometrischen Versuchen kommt eben in Betracht, dass die Gesammtkraft, die ein elektrisirter Körper auf einen anderen ausübt, proportional der Elektricitätsmenge sowohl des anziehenden, als auch der des angezogenen Körpers ist.

Obgleich also die Pole einer kleinen, aber zur Wasserzersetzung ausreichenden galvanischen Batterie auf die verhältnissmässig kleinen elektrischen Ladungen, wie wir sie mit unseren Elektrisirmaschinen hervorbringen, nur äusserst mässige Anzie-

---

[1]) Die Data für die folgende Rechnung siehe unten im Anhange I, am Schlusse dieser Vorlesung.

Digitized by Google

hungskräfte ausüben, so sind andererseits die Anziehungen derselben Pole auf die riesigen Ladungen der Atome von einem Milligramm Wasser gross genug, dass sie den mächtigsten chemischen Verwandtschaftskräften den Rang ablaufen können.

Soviel über die Grösse dieser Kräfte; jetzt wollen wir untersuchen, in welcher Weise die Bewegungen der wägbaren Molekeln durch sie beeinflusst werden. Hier sind zwei ganz verschiedene Fälle zu unterscheiden. Erstlich können wir fragen, welche Kräfte nöthig seien, um die Ionen in Vereinigung mit ihren elektrischen Ladungen durch das Innere der Flüssigkeit fortzutreiben, zweitens, welche Kräfte zur Trennung des Ions von seiner Ladung und seinen bisherigen chemischen Verbindungen gebraucht werden.

Am einfachsten ist der Fall, wo die leitende Flüssigkeit ringsum von isolirenden Wänden begrenzt ist. Dann kann keine Elektricität in sie ein- oder austreten; dennoch kann unter dem vertheilenden Einflusse benachbarter elektrisirter Körper positive Elektricität nach der einen, negative nach der entgegengesetzten Seite der flüssigen Masse getrieben werden. Bei diesem Vorgange, den man „elektrostatische Induction" nennt, verhalten sich flüssige Leiter ganz wie metallische. Es können sehr erhebliche Quantitäten Elektricität auf diese Weise längs den Oberflächen beider Leiter angesammelt werden, wenn diese Oberflächen an einzelnen Theilen einander sehr nahe kommen. Einen solchen Apparat, wo dies der Fall ist, nennt man einen elektrischen Condensator. Wir können elektrische Condensatoren bauen, in denen eine der Oberflächen von einer Flüssigkeit gebildet wird. Zur Ausführung des Volta'schen Fundamentalversuchs sind solche schon vielfach gebraucht worden. Dass die allerschwächsten elektrischen Kräfte in vollkommen regelmässiger Weise auch in solchen flüssigen Oberflächen elektrische Vertheilung hervorrufen, zeigt namentlich der zur Beobachtung der Luftelektricität von Sir W. Thomson eingeführte Tropfapparat. Es kann keine Frage sein, dass selbst elektromotorische Kräfte, kleiner als $\frac{1}{100}$ Daniell, die vollkommene Gleichgewichtsvertheilung der Elektricität in den ihnen unterworfenen flüssigen Leitern hervorrufen.

Uebrigens geschieht dies nicht nur bei gut leitenden Elektrolyten, sondern auch bei unseren verhältnissmässig besten Isolatoren; nur brauchen letztere längere Zeit. Aber auch solche laden

Digitized by Google

sich, wie Herr Professor Wüllner gezeigt hat, schliesslich ganz so, wie Metalle an ihrer Stelle es augenblicklich gethan haben würden.

Genau derselbe Vorgang tritt unter etwas abgeänderten Bedingungen und in etwas abgeänderter Erscheinungsweise ein, wenn wir die zwei Platinelektroden eines Voltameters mit nur einem Daniell'schen Element verbinden, dessen elektromotorische Kraft für sich zur Wasserzersetzung nicht ausreicht. In diesem Falle geben die Ionen der Flüssigkeit, die zu den Oberflächen der Elektroden geführt werden, ihre elektrischen Ladungen nicht ab. Der ganze Apparat verhält sich, wie zuerst von Sir W. Thomson hervorgehoben wurde, wie ein Condensator von ungeheurer Capacität. Es kommt dabei in Betracht, dass die Quantität Elektricität, die an zwei Condensatorflächen unter dem Einflusse einer constant bleibenden elektromotorischen Kraft sich ansammelt, umgekehrt proportional dem Abstande der Platten ist. Wenn wir diesen auf $\frac{1}{100}$ des früheren verkleinern, so nimmt der Condensator hundert Mal so viel Elektricität auf. Die Flächen des Platin aber und der ihm anliegenden Flüssigkeit haben nur noch moleculare Abstände. Wir dürfen also einen ungeheuer grossen Werth für die Capacität eines solchen Condensators erwarten. Gemessen wurde dieselbe durch die Herren Varley, F. Kohlrausch und Colley. Ich selbst überzeugte mich bei dahin gerichteten Versuchen, dass in der Flüssigkeit gelöste Luft den Werth erheblich vergrössern kann. Nachdem ich die letzten Spuren von Luft entfernt hatte, bekam ich einen Werth, etwas kleiner als der von Kohlrausch gefundene. Vertheilen wir den Gesammtwerth der Polarisation gleichmässig auf beide Platten, so ergiebt sich der Abstand zwischen den beiden Schichten positiver und negativer Elektricität auf den zehnmillionsten Theil (Kohlrausch $^1/_{15000000}$) eines Millimeters. Es ist dies annähernd dieselbe Grösse, welche sich auch in einigen anderen von Sir W. Thomson berechneten Fällen für den Wirkungskreis der Molecularkräfte ergeben hat.

Bei der hierdurch bedingten ungeheuern Capacität eines solchen Condensators wird die Menge Elektricität, welche zu seiner Ladung selbst bei schwachen elektromotorischen Kräften nöthig ist, bedeutend genug, dass sie merkliche Zeit zum Einströmen und Ausströmen braucht und durch ein Galvanometer angezeigt werden kann. Denselben Process, den ich hier Ladung des Condensators nenne, habe ich vorher als Entstehung galva-

Digitized by Google

nischer Polarisation an der metallischen Elektrode bezeichnet, indem ich dort das Hauptgewicht auf die Bewegung der Ionen, hier auf die der Elektricität legte. Aber beide sind, wie wir wissen, immer untrennbar verbunden.

Wenn man polarisirende und depolarisirende Ströme in einer luftleeren Zelle, wie Fig. 19, beobachtet, findet man sie mit vollkommener Regelmässigkeit selbst bei den schwächsten elektromotorischen Kräften bis zu 0,001 Daniell herab ablaufend, so dass die in den Condensator eintretende Elektricitätsmenge immer der angewendeten elektromotorischen Kraft proportional ist. Ich zweifle nicht, dass, wenn man grössere Platinplatten als Elektroden nimmt, man noch viel weiter wird gehen können. Wenn irgend eine chemische Kraft ausser der gegenseitigen Anziehung der elektrischen Ladungen bestände, die alle die Paare des Anion und Kation zusammenhielte, und deren Ueberwindung irgend einen kleinen Aufwand von Arbeit erforderte, so müsste sich eine untere Grenze finden lassen für die elektromotorischen Kräfte, die Polarisationsströme hervorbringen können. Bisher ist noch keine Erscheinung beobachtet worden, welche die Existenz einer solchen Grenze anzeigte, und wir müssen deshalb schliessen, dass keine andere Kraft der Loslösung der Ionen von einander widersteht, als allein die Anziehung ihrer elektrischen Ladungen. Diese letzteren können allerdings verhindern, dass sich Atome derselben Art, die einander abstossen, an der einen Stelle und dagegen entgegengesetzt geladene Atome, die jene anziehen und von ihnen angezogen werden würden, an einer andern Stelle sammeln können, so lange keine äussere Anziehungskraft einer solchen ungleichmässigen Vertheilung zu Hülfe kommt. Die elektrischen Kräfte werden also allerdings eine gleichmässige Vertheilung der entgegengesetzten Ionen durch die ganze Flüssigkeit zu unterhalten im Stande sein, so dass alle Theile derselben ebenso gut elektrisch, wie chemisch neutralisirt sind. Dagegen reichen dann auch die geringsten äusseren elektrischen Kräfte hin, die Gleichmässigkeit dieser Vertheilung zu stören.

Ganz im Gegentheil finden wir, dass bei der Trennung eines Ion von seiner elektrischen Ladung die elektrischen Kräfte der Batterie einem mächtigen Widerstande begegnen, dessen Ueberwindung einer höchst bedeutenden Arbeitsleistung entspricht. Der einfachste Fall ist der, wo die Ionen, indem sie ihre elektrischen Ladungen verlieren, auch gleichzeitig aus der Flüssigkeit scheiden, sei es als Gase, oder in der Form fester metallischer

Digitized by Google

Schichten, die sich, wie z. B. galvanoplastisches Kupfer, an die Elektrode anlegen. Nun ist bekannt, dass die chemische Verbindung zweier Elementarstoffe, die grosse Verwandtschaft zu einander haben, immer grosse Wärmemengen erzeugt, was einer grossen mechanischen Arbeitsleistung äquivalent ist. Im Gegentheil erfordert die Zersetzung der entstandenen chemischen Verbindung nun ihrerseits wieder einen entsprechenden Aufwand arbeitsfähiger Kräfte, weil dabei die Energie der bei Schliessung der Verbindung verloren gegangenen chemischen Arbeitskräfte wieder hergestellt wird. Sauerstoff und Wasserstoff, von einander getrennt, enthalten einen Vorrath von Energie; denn wenn wir sie mit einander zu Wasser verbrennen lassen, entwickeln sie eine grosse Wärmemenge. Im Wasser sind die beiden Elemente enthalten und ihre chemische Anziehungskraft besteht fort, indem sie sie fest vereinigt hält; aber dieselbe kann nunmehr keine Veränderung, keine positive Action mehr hervorbringen. Wir müssen die vereinigten Elemente in ihren ersten Zustand zurückführen, wir müssen sie von einander trennen und dazu eine Kraft anwenden, die ihrer Verwandtschaft überlegen ist, ehe wir ihnen die Fähigkeit wiedergeben, ihre erste Action zu erneuern. Die Wärmemenge, welche durch die chemische Verbindung hervorgebracht wird, ist wenigstens angenähert das Aequivalent der Arbeitsleistung der chemischen Kräfte, die in Wirksamkeit versetzt worden sind[1]. Derselbe Betrag von Arbeit muss andererseits aufgewendet werden, um die Verbindung zu trennen und die beiden Gase in den unverbundenen Zustand zurückzuführen. Ich habe die Grösse dieser Arbeitsleistung schon oben als ein gehobenes Gewicht berechnet.

Metalle, die sich mit Sauerstoff oder Halogenen vereinigen, bringen ebenfalls Wärme hervor; einige unter ihnen, wie Kalium, Natrium, Zink, sogar mehr als eine äquivalente Menge Wasserstoff; die weniger leicht oxydirbaren Metalle dagegen, wie Kupfer, Silber, Platina weniger. Wir finden dem entsprechend, dass Wärme entwickelt wird, wenn Zink das Kupfer aus seiner Verbindung mit dem zusammengesetzten Halogen der Schwefelsäure austreibt. Das ist der chemische Vorgang, der in den Daniell'schen Zellen vorgeht, und dieser Vorgang ist eben deshalb fähig, Wärme oder andere Arbeitsformen zu erzeugen.

[1] Einschränkungen und nähere Bestimmungen dieses Satzes in meinen neueren Aufsätzen über Thermodynamik chemischer Vorgänge. Berliner Sitzungsber. 2. Febr. und 27. Juli 1882.

Digitized by Google

Wenn wir nun durch solch ein Element einen Strom erregen und durch irgend einen Leiter, sei er metallisch oder elektrolytisch, gehen lassen, so entwickelt er in diesem Wärme. Es war zuerst Dr. Joule, der durch Versuche nachwies, dass, wenn keine andere Arbeit durch den Strom geleistet wird, die gesammte in einem galvanischen Strome entwickelte Wärme genau gleich ist der Wärmemenge, die durch die gleichzeitig vorgegangenen chemischen Umsetzungen in der Batterie auch ohne den Strom erzeugt worden wäre. Aber diese Wärme wird nicht an der Oberfläche der Elektroden entwickelt, da, wo die chemischen Processe vor sich gehen, sondern sie wird in allen Theilen des Stromkreises, und zwar proportional dem galvanischen Widerstande jedes einzelnen Theiles entwickelt. Daraus ergiebt sich, dass die entwickelte Wärme nicht unmittelbar durch den chemischen Process, sondern durch die elektrische Bewegung entwickelt wird, und dass die chemische Arbeitskraft der Batterie zunächst dazu verwendet worden ist, die elektrische Bewegung in Gang zu setzen.

Um einen elektrischen Strom durch irgend einen Leiter dauernd zu unterhalten, ist in der That Verwendung eines bestimmten Betrages von Arbeit, sei es chemischer, sei es mechanischer, nöthig. Es müssen fortdauernd neue Vorräthe positiver Elektricität in das positive Ende des Leiters gegen die abstossende Kraft der dort angesammelten positiven Elektricität eingetrieben werden, negative Elektricität ebenso in das negative Ende.

Dies kann unter Anderem auch durch rein mechanische Kräfte gethan werden, z. B. mit einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine, welche durch Reibung wirkt, oder mit einer Holtz'schen Maschine, die durch elektrostatische Induction wirkt, oder auch mit einer magnetelektrischen, die elektrodynamisch inducirte Ströme liefert. Wenn in den gewöhnlichen galvanischen Batterien chemische Kräfte dieselbe Arbeit verrichten, so bleibt der Betrag der durch sie zu leistenden Arbeit für gleiche Leistung doch immer derselbe.

Die Grösse dieser Arbeit ist, passende Maasseinheiten vorausgesetzt, gleich dem Product aus der durchgeflossenen Elektricitätsmenge und aus der Potentialdifferenz an den Enden der Leitung, welche letztere wieder mit der elektromotorischen Kraft der Batterie zusammenfällt. Da nun nach Faraday's Gesetz die Menge der chemischen Zersetzungsproducte der Elektricitätsmenge proportional ist, so muss die elektromotorische Kraft der

Digitized by Google

Batterie der Arbeit[1]) proportional sein, die durch die vorgegangenen Umsetzungen von je einem Aequivalent der betreffenden Stoffe gewonnen werden kann. Während in den Zellen einer galvanischen Batterie, die den Strom erregt, chemische Processe vor sich gehen müssen, welche Arbeit zu leisten im Stande sind, wird im Gegentheil in solchen Zellen, in denen bestehende chemische Verbindungen zerlegt werden, ein Theil der Arbeitskraft des Stromes verbraucht werden, um die entgegenstehenden chemischen Kräfte zu überwinden. Der Rest dieser Arbeitskraft erscheint als Wärme wieder, die gegen den Widerstand der Leitung entwickelt wird, oder er wird unter Umständen auch verbraucht, um Magnete in Bewegung zu setzen, beziehlich andere Arten von Arbeit zu leisten.

Dabei kommen nicht bloss die grossen Verwandtschaftskräfte der sich in festen Verhältnissen vereinigenden und trennenden Elemente in Betracht, sondern auch die kleineren molecularen Anziehungskräfte, welche das Wasser und andere Bestandtheile der Lösung auf deren Ionen ausüben, und selbst Einflüsse dieser Art, die zu schwach sind, um durch die calorimetrischen Methoden gefunden zu werden, können durch Messung der elektromotorischen Kräfte gemessen werden. Mir selbst ist es gelungen, aus der mechanischen Wärmetheorie den Einfluss zu berechnen, den die in einer Salzlösung enthaltene Wassermenge auf die elektromotorische Kraft hat. Die chemische Anziehung zwischen Salz und Wasser kann in diesem Falle durch die Verminderung der Dampfspannung über der Flüssigkeit gemessen werden, und die theoretischen Folgerungen sind für diesen Vorgang in sehr befriedigender Weise durch die Versuche von Herrn James Moser bestätigt worden[2]).

Bis hierher haben wir die Voraussetzung festgehalten, dass das Ion sich gleichzeitig mit seiner elektrischen Ladung von der Flüssigkeit trenne. Aber das Ion kann auch, nachdem es seine Elektricität an die Elektrode abgegeben hat, in der Flüssigkeit bleiben, und zwar nun in neutral elektrischem Zustande. Dies bringt kaum einen Unterschied in der elektromotorischen Kraft hervor. Wenn zum Beispiel an der Anode Chlor aus einer Verbindung ausscheidet, wird es zunächst in der Flüssigkeit aufgelöst bleiben;

[1]) Hier war im Original noch die entwickelte Wärme als volles Aequivalent der Arbeit betrachtet. S. die oben S. 305 citirten Aufsätze.

[2]) Wiedemann's Annalen. Bd. III. S. 201 bis 216 und 216 bis 219.

Digitized by Google

wenn die Lösung aber sich zu sättigen beginnt, oder wenn wir über der Flüssigkeit ein Vacuum machen, so wird sich das Gas in Blasen entwickeln. Die elektromotorische Kraft wird durch die beginnende Gasentwicklung nicht wesentlich verändert, so lange der Sättigungszustand der Flüssigkeit sich nicht ändert. Dasselbe gilt für alle anderen Gase, wenn sie sich auch nicht alle in derselben Menge wie Chlor auflösen können. Sie sehen an diesem Beispiele, dass die Verwandlung des negativ geladenen Chlors in elektrisch neutrales und nunmehr freies Chlor derjenige Process ist, der einen so grossen Aufwand von Arbeit fordert, selbst wenn die wägbare Masse seiner Atome nach wie vor in der Flüssigkeit bleibt.

Im Gegentheil, wenn die elektrische Ladung der Elektroden nicht stark genug ist, um den Ionen, die sich längs deren Oberfläche sammeln, ihre Elektricität zu entziehen, so wird das Kation an der Kathode und das Anion an der Anode festgehalten mit einer Kraft, die durch das Ausdehnungsbestreben der Gase nicht überwunden werden kann. Auch wenn man die Luft über der Flüssigkeit vollständig wegnimmt, giebt eine mit Wasserstoff polarisirte Kathode oder eine mit Sauerstoff polarisirte Anode nicht das kleinste Gasbläschen her. Erst wenn man die Potentialdifferenz der Elektroden so weit steigert, dass sie die elektrischen Ladungen der Ionen hinreichend kräftig anziehen, um sie zu sich hinüber zu reissen, werden die Ionen selbst frei, um anderen mechanischen Kräften zu folgen und die Elektrode zu verlassen, beziehlich sich als Gase zu entwickeln. Daraus folgt also, dass es nicht ihr wägbarer Theil ist, der von der Elektrode angezogen wird; dann müssten sie auch nach ihrer Entladung noch festhaften. Wir müssen vielmehr schliessen, dass sie nur, weil und so lange sie elektrisch geladen sind, zur entgegengesetzt geladenen Elektrode gezogen werden.

Je mehr die positiv geladene Oberfläche der Anode sich mit negativ geladenen Atomen des Anion deckt, und die der Kathode mit positiven des Kation, desto mehr vermindert sich die Anziehung, welche beide auf die im Innern der Flüssigkeit liegenden Ionen ausüben. Die Kraft dagegen, mit welcher die positive Elektricität eines Wasserstoffatoms der Grenzschicht gegen die Oberfläche des Metalls hingezogen wird, wächst in dem Maasse, als mehr negative Elektricität sich vor ihm im Metall, und mehr positive sich hinter ihm in der Wasserstoffschicht der Flüssigkeit condensatorisch ansammelt.

Digitized by Google

Diese Anziehungskraft, welche in einem geladenen Condensator auf die Einheit des elektrischen Quantum wirkt, was an der Innenseite einer der Ladungsschichten liegt, ist proportional der elektromotorischen Kraft, die den Condensator geladen hat, und umgekehrt proportional dem Abstande der geladenen beiden Grenzflächen. Wenn diese $\frac{1}{100}$ mm von einander entfernt sind, ist die Kraft 100 mal so gross, als wenn sie 1 mm Abstand haben. Steigen wir also zu Moleculardistanzen herab, wie wir sie aus der Capacität der polarisirten Elektroden berechnet haben, so wird die Kraft 10 Millionen Mal grösser, so dass unter diesen Umständen selbst eine mässige elektromotorische Kraft den mächtigen chemischen Kräften den Rang ablaufen kann, die jedes Atom mit seiner elektrischen Ladung verbinden und die Atome in der Flüssigkeit festhalten.

So würde man sich die Mechanik der Vorgänge zu denken haben, durch welche die elektrische Kraft an der Oberfläche der Elektroden entwickelt und allmälig so verstärkt wird, dass sie die mächtigsten chemischen Verwandtschaften, die wir kennen, überwinden kann. Wenn dies durch eine polarisirte Fläche geschehen kann, die nur die Rolle eines durch eine mässige elektromotorische Kraft geladenen Condensators spielt, können die ungeheuern elektrischen Ladungen von Anion und Kation dann wohl noch für einen unerheblichen und unwesentlichen Theil der chemischen Verwandtschaftskraft gehalten werden?

In einer Zersetzungszelle, wie wir sie zuletzt als Beispiel brauchten, widerstehen die Ionen äusseren Anziehungskräften, die sie von ihren elektrischen Ladungen zu trennen suchen. Kehren wir die Richtung des Stromes um, so gehen auch die elektrolytischen Processe in umgekehrter Richtung, und die elektrischen Kräfte der Ionen unterstützen den Strom. In einem Daniell'schen Elemente tritt neutrales Zink in die Lösung, wobei es nur $+E$ mitnimmt, und was es von $-E$ hat, der Metallplatte zurücklässt, beziehlich es gegen $+E$ austauscht. An der Kupferelektrode trennt sich das positiv geladene Kupfer der Lösung und setzt sich neutralisirt als galvanoplastische Schicht ab. Seinen Ueberschuss an positiver E giebt es an die Elektrode ab. Wir haben aber schon gesehen, dass, während dies in einem Daniell'schen Elemente vorgeht, dasselbe nach aussen hin Arbeit leistet. Daraus müssen wir schliessen, dass ein Aequivalent von $+E$, das sich als Ladung mit einem Atom Zink

Digitized by Google

vereinigt, grössere Arbeit leisten kann, als wenn es an ein Atom Kupfer tritt.

Wenn wir dies wieder in der Sprache der dualistischen Theorie ausdrücken und positive und negative Elektricität als zwei imponderable Substanzen behandeln wollen, so sind die besprochenen Vorgänge von solcher Art, als würden die Aequivalente von $+E$ und $-E$ mit verschiedener Kraft von verschiedenen Atomen (vielleicht auch von den verschiedenen Verbindungsstellen eines einzelnen multivalenten Atoms) angezogen. Kalium, Natrium, Zink müssen starke Anziehung für $+E$ haben, Sauerstoff, Chlor, Brom, Jod dagegen für $-E$.

Beobachten wir nun Wirkungen solcher Anziehung auch in anderen Fällen? Wir stossen hier auf die viel bestrittene Annahme Volta's, dass elektrische Spannungen durch die Berührung je zweier verschiedener Metalle hervorgerufen würden. Ueber die Richtigkeit der von Volta beschriebenen Thatsachen kann kein Zweifel mehr bestehen. Wenn wir zwischen einer Kupferplatte und einer Zinkplatte, die in sehr geringer Entfernung, gut isolirt durch Schellackstäbe getragen, wie Platten eines Condensators einander gegenüberstehen, für einen Augenblick metallische Verbindung herstellen, und sie dann von einander entfernen, so finden wir, dass sich das Kupfer negativ, das Zink positiv geladen hat. Dies ist gerade die Wirkung, welche wir zu erwarten hätten, wenn das Zink zur positiven Elektricität eine grössere Anziehungskraft hat, als das Kupfer, eine Anziehungskraft, die übrigens nicht, wie die von $+E$ auf $-E$ in die Ferne, sondern nur in molecularen Abständen wirkt. Ich habe diese Erklärung von Volta's Versuch schon 1847 in meiner Abhandlung über Erhaltung der Kraft aufgestellt. Alle Thatsachen, welche man bei den verschiedensten Anordnungen rein metallischer Leiter von gleicher Temperatur beobachtet, sind damit in vollkommener Uebereinstimmung; namentlich ergiebt sich Volta's Gesetz der Spannungsreihe sogleich aus dieser Erklärung. Anziehungskräfte, wie die angenommenen, streben nothwendig einem Gleichgewichtszustande zu, und ein solcher tritt auch immer augenblicklich ein, so lange keine anderen Leiter, als gleich temperirte Metallstücke mit einander in Berührung treten. Dabei haben wir nie einen dauernden elektrischen Strom. Ganz anders ist der Vorgang, wenn elektrolytische Leiter sich einmischen. Diese zerfallen unter dem Einflusse der elektrischen Bewegung in ihre Bestandtheile, und in vielen solchen Fällen

Digitized by Google

kann daher ein ruhender Gleichgewichtszustand erst zu Stande kommen, wenn die elektrolytische Umsetzung vollendet ist. Dieser Punkt ist schon von Faraday besonders hervorgehoben worden, als der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Klassen von Leitern.

Volta's ursprüngliche Theorie war gerade hier unvollständig, weil ihm die elektrolytische Zersetzung noch nicht bekannt war. Seine eigene Auffassung der „Contactkraft“ ist deshalb unleugbar in Widerspruch mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft; und schon ehe dieses Gesetz klar definirt und als thatsächlich richtig erwiesen war, fühlten viele Chemiker und Physiker, unter ihnen auch Faraday, dass dies nicht die vollständige Erklärung sein könnte. Volta's Gegner strebten chemische Erklärungen auch für diejenigen Versuche zu geben, bei denen ausschliesslich metallische Leiter in Wechselwirkung treten. Sie könnten möglicher Weise durch den Sauerstoff der Luft oxydirt werden, und in der That würde die für die schwache elektrische Ladung erforderliche Oxydation so minimale Mengen in Anspruch nehmen, dass es hoffnungslos ist, sie durch chemische Methoden entdecken oder durch chemische Reinigung der umgebenden Gase, beziehlich Vacua, verhindern zu wollen. Thatsächlich können daher die Annahmen der sogenannten chemischen Theorie nicht widerlegt werden; aber sie giebt kaum mehr, als die unbestimmte Versicherung, dass hier vielleicht ein chemischer Process vorkomme, und wo ein solcher vorkommt, Elektricität sich zeigen könne; aber wie viel, welcher Art, bis zu welcher Spannung, alles dies blieb entweder gänzlich unbestimmt, oder für verschiedene Fälle wurden einander widersprechende Erklärungen angewendet. Namentlich ist es misslich für diese Theorie, dass in denjenigen Fällen, wo unzweifelhaft chemische Processe stattfinden und Elektricität erregen, nämlich bei Metallplatten, die in elektrolytische Flüssigkeiten getaucht sind, gerade die entgegengesetzte Art der Elektrisirung entsteht, als bei Volta's Fundamentalversuch. Dass elektrische und chemische Kräfte im Wesentlichen dieselben sind, nimmt auch die von mir ausgeführte Theorie an. Aber meines Erachtens genügt das Vorhandensein dieser Kräfte, welche bei ungehemmter Wirkung chemische Processe zu Stande bringen würden, die entsprechenden elektrischen Vertheilungen hervorzurufen, auch ehe die chemische Vereinigung eintritt. Dass immer ein fertiger chemischer Process vorausgehen, oder gar dauernd fortbestehen müsse, wo voltaische Ladungen sich finden,

Digitized by Google

scheint mir eine unnöthige und unbewiesene Annahme zu sein, die ausserdem nichts wirklich erklärt.

Nun sind freilich die elektrischen Ladungen des Zinks und Kupfers bei Volta's Versuch äusserst schwach. Erst durch die höchst empfindlichen neueren Quadrantelektrometer von Sir W. Thomson sind sie sicher messbar geworden; aber warum hier die Wirkung so schwach ist, das ist leicht verständlich. Wenn man zwei ebene und gut polirte Platten von Zink und Kupfer in genaue Berührung bringt, wird die auf beiden Seiten der Grenzfläche angehäufte Elektricitätsmenge wahrscheinlich sehr gross sein. Aber man kann sie nicht wahrnehmen, ehe man die Platten nicht von einander getrennt hat. Die Ladung, welche sie nach der Trennung behalten, wird dann nur derjenigen entsprechen können, die sie in dem Augenblicke haben, wo der letzte Berührungspunkt zwischen ihnen schwindet. Dann sind alle anderen Theile ihrer Oberfläche schon in Entfernungen von einander, welche unendlich gross im Vergleich mit molecularen Entfernungen sind; und in den Metallen ist die Leitung der Elektricität so gut, dass das der augenblicklichen Lage entsprechende elektrische Gleichgewicht immer als nahehin vollständig hergestellt angesehen werden kann. Wenn diese Entladung der Platten während ihrer beginnenden Trennung vermieden werden soll, muss mindestens eine von ihnen isolirend sein. In diesem Falle erhalten wir in der That eine viel auffallendere Reihe von Erscheinungen, nämlich die der sogenannten Reibungselektricität. Die Reibung ist dabei wahrscheinlich nur das Mittel, um eine sehr enge Berührung zwischen den beiden Körpern hervorzubringen. Wenn deren beide Oberflächen sehr rein und frei von anhängender Luft sind, wie zum Beispiel in einer Geissler'schen Vacuumröhre, die einen Quecksilbertropfen enthält, so genügt die leiseste rollende Bewegung der beiden Körper an einander, um die elektrische Ladung zu entwickeln. Hier sind zwei Röhren so stark ausgepumpt, dass nur ganz mächtige elektrische Entladungen noch hindurch gehen und die Röhren leuchtend machen können. Die eine enthält eine kleine Menge Quecksilber, die andere die flüssige Legirung von Kalium und Natrium. In der ersteren ist das Metall sehr stark negativ gegen das Glas. Die Legirung dagegen entspricht dem positiven Ende der Spannungsreihe; doch zeigt sich auch hier das Glas noch positiver als das Metall, nur ist die Ladung viel schwächer als beim Quecksilber.

Digitized by Google

Faraday ist sehr oft darauf zurückgekommen und hat immer wieder seine Ueberzeugung ausgesprochen, dass die beiden unter dem Namen der chemischen Verwandtschaft und der Elektricität bekannten Naturkräfte durchaus identisch seien. Ich habe mich bemüht, Ihnen heute einen Ueberblick der Thatsachen vorzuführen und so viel, wie möglich, Hypothesen bei Seite zu lassen mit Ausnahme der Atomtheorie der modernen Chemie. Ich meine, die Thatsachen können darüber keinen Zweifel lassen, dass bei weitem die mächtigsten unter den chemischen Kräften elektrischen Ursprungs sind. Die Atome haften an ihren elektrischen Ladungen und die einander entgegengesetzten Ladungen wieder an einander; aber ich möchte nicht die Mitwirkung anderer Molecularkräfte ausschliessen, die unmittelbar von Atom zu Atom wirken. Mehrere unter unseren ersten Chemikern haben neuerdings angefangen, zwei Klassen von Verbindungen zu unterscheiden, nämlich die loseren molecularen Aggregate und die typischen Verbindungen; nur die letzteren sind mit ihren Valenzwerthen an einander geknüpft, nicht aber die ersteren.

Elektrolyte gehören durchaus zu den typischen Verbindungen. Wenn wir vorher aus den Thatsachen folgerten, dass jede Verbindungseinheit mit einem Aequivalent entweder von $+E$ oder von $-E$ beladen ist, so können sie elektrisch neutrale Verbindungen nur herstellen, wo jede positiv beladene Einheit sich unter dem Einfluss der vorher berechneten gewaltigen Anziehungskraft mit je einer negativ beladenen Einheit verbindet. Sie sehen, daraus folgt dann unmittelbar, dass jede Verwandtschaftseinheit eines Atoms nothwendig mit einer und nur mit einer solchen Einheit eines anderen Atoms verknüpft sein muss. Dies ist in der That die wesentliche Behauptung der Valenztheorie der modernen Chemie, so weit sie sich auf die sogenannten gesättigten Verbindungen erstreckt. Die aus chemischen Gründen gezogene Folgerung, dass auch einfache Stoffe der Regel nach Molekeln haben, die aus je zwei Atomen zusammengesetzt sind, macht es wahrscheinlich, dass auch in diesen Fällen die elektrische Neutralisation durch die Verbindung von je zwei Atomen erreicht ist, deren jedes mit einem ganzen Aequivalent $+E$, beziehlich $-E$ geladen ist, nicht durch Neutralisation jeder einzelnen Verbindungseinheit.

Ungesättigte Verbindungen mit einer geraden Anzahl unverbundener Valenzen würden in diese Theorie einzufügen sein durch die Annahme, dass die unverbundenen Einheiten mit

Digitized by Google

gleichen und entgegengesetzten elektrischen Aequivalenten geladen seien. Ungesättigte Verbindungen mit nur einer unverbundenen Einheit, wenn sie nur bei hohen Temperaturen existiren, können angesehen werden als dissociirt durch die Gewalt der Wärmebewegung trotz ihrer elektrischen Anziehungen. Aber ein Beispiel bleibt allerdings übrig von einer Verbindung, die nach Avogadro's Gesetz selbst bei den niedrigsten Temperaturen als ungesättigt angesehen werden muss, nämlich Stickoxydgas (NO), eine Substanz, die übrigens noch viele andere ganz ungewöhnliche Eigenschaften zeigt, und bei der man die Erklärung von der Zukunft erhoffen muss[1]).

Uebrigens möchte ich hier nicht mehr in weitere Einzelheiten eintreten, vielleicht bin ich schon zu weit darin gegangen. Ich würde mich auch nicht so weit gewagt haben, wenn ich mich nicht durch Faraday's Autorität gestützt gefühlt hätte, der durch einen selten fehlenden Instinct für die Wahrheit geleitet worden ist. Ich meinte, das Beste, was ich zu seiner Gedächtsnissfeier thun könnte, sei eben die Aufmerksamkeit derjenigen Männer, durch deren Thatkraft und Scharfsinn die Chemie ihre staunenswerthe neue Entwickelung erreicht hat, zurückzulenken auf die grossen Wissensschätze, die noch in den Werken jenes wunderbaren Geistes verborgen liegen. Ich bin nicht so eingehend mit der Chemie bekannt, dass ich mich sicher fühlte, genau die richtige Deutung gefunden zu haben, diejenige Deutung, welche Faraday selbst gegeben haben würde, wenn er mit dem Gesetze der Valenz bekannt gewesen wäre. Ohne dieses Gesetz konnte kaum eine folgerichtige und umfassende elektrochemische Theorie gegeben werden; auch versuchte Faraday nicht, eine solche zu geben. Es ist ebenso bezeichnend für einen Mann von hoher Intelligenz, zu sehen, wie er vermeidet, in seinen theoretischen Anschauungen weiter zu gehen, wo ihm die Thatsachen fehlen, als zu sehen, wie er vorwärts geht, wo er den Weg offen findet. Wir müssen Faraday hier in seiner vorsichtigen Zurückhaltung ebenso bewundern, wenn wir auch jetzt, auf seinen Schultern stehend und gefördert durch die bewundernswerthe Entwicklung der organischen Chemie, vielleicht weiter sehen mögen, als er. Ich werde meine heutige Bemühung als wohlbelohnt ansehen, wenn es mir gelungen ist, das Interesse der Chemiker an dem elektrochemischen Theil ihrer Wissenschaft neu belebt zu haben.

---

[1]) S. Anhang II, am Schlusse dieser Vorlesung.

Digitized by Google

Anhang.

I.

Berechnung der elektrostatischen Wirkung der elektrolytischen Ladungen von einem Milligramm Wasser.

(Zu S. 301.)

Nach den letzten sorgfältigen Messungen des elektrochemischen Aequivalents des Wassers, welche Professor F. Kohlrausch ausgeführt hat, zersetzt die von W. Weber definirte elektromagnetische Stromeinheit (= 0,1 Ampère) 0,009476 mg Wasser in der Secunde. Diese selbe Stromeinheit macht ungefähr 300000 Millionen elektrostatische Einheiten durch jeden Querschnitt des Stromes während einer Secunde fliessen, von denen die eine Hälfte abwärts fliessende $+E$, die andere aufwärts fliessende $-E$ ist. W. Weber selbst gab 311000, Cl. Maxwell 288000 Millionen. Die elektrostatische Einheit der Elektricität, wie sie durch Gauss und W. Weber eingeführt wurde, ist diejenige Menge, welche eine ihr gleiche Quantität aus der Entfernung von 1 mm mit der Krafteinheit abstösst. Letztere wiederum ist diejenige Kraft, welche während einer Secunde auf 1 mg wirkend, ihm die Geschwindigkeit von 1 mm in der Secunde ertheilt. Die Schwere eines Milligramms ertheilt ihm in der Secunde eine Geschwindigkeit von 9809 mm. Folglich ist Weber's Krafteinheit $\frac{1}{9809}$ von der Schwere eines Milligramms.

Die Kraft F, mit welcher das elektrische Quantum $+E$, welches nach elektrostatischen Einheiten gemessen ist, das gleich grosse Quantum $-E$ aus der Entfernung r anzieht, durch die Schwere eines Gewichts gemessen, ist demnach:

$$F = \frac{E^2}{r^2} \cdot \frac{1 \text{ mg}}{9809}.$$

Wenn wir unter E die Elektricität verstehen, die bei der Zersetzung von 1 mg Wasser jeder Elektrode zuströmt, so ist diese nach den oben angeführten Bestimmungen gleich 31,66 Billionen Einheiten, und wenn wir $r = 1$ km $= 1000000$ mm setzen, erhalten wir das im Text angegebene Resultat oder genauer 102180 kg [1]).

Vergleich mit der Gravitation.

Die Schwere eines Gewichts m ist die Anziehungskraft zwischen ihm und der Erdmasse, welche letztere so wirkt, als wäre sie ganz in dem Mittelpunkte der Erde vereinigt. Wenn wir mit h die mittlere Dichtigkeit der Erde, mit r ihren Radius bezeichnen, ist die Masse der Erde

$$\frac{4\pi}{3} \cdot r^3 . h.$$

Wenn G die Anziehungskraft der Gravitation zwischen zwei Masseneinheiten in der Einheit der Entfernung ist, so ist die Anziehung der Masse m durch die irdische Schwere

$$gm = \frac{4\pi}{3} \cdot r . h . G . m.$$

Nach der Definition des Meter ist

$$\frac{\pi}{2} r = 10^7 \text{ m} = 10^{10} \text{ mm}.$$

Ferner ist

$$h = 5{,}62 \text{ mg auf 1 cmm}.$$

Daher ist die Anziehung zwischen $\frac{8}{9}$ mg Sauerstoff und $\frac{1}{9}$ mg Wasserstoff, wie sie in 1 mg Wasser enthalten sind, in der Entfernung von 1 mm gleich

$$\frac{1}{9} \cdot \frac{8}{9} \cdot G = \frac{g}{27 . h . 10^{10}},$$

oder gleich dem Gewicht von

$$\frac{6{,}5917}{10^{13}} \text{ mg}.$$

---

[1]) Im Original ist nur die zugeführte, nicht die ganze angesammelte E berechnet. Aber die Anziehung hängt von der letzteren ab, welche doppelt so gross als die erstere ist. Danach sind auch die folgenden Zahlen geändert.

Digitized by Google

Die Anziehung der elektrischen Ladungen, welche oben für 1 km Entfernung berechnet ist, würde in 1 mm Entfernung sein gleich dem Gewicht von

$$102180 . 10^{18} \text{ mg}.$$

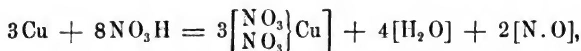
Daraus folgt, dass, um durch die Gravitation wägbarer Massen bei gleicher gegenseitiger Lage die gleiche Anziehungskraft zu erhalten, diese 393700 Billionen Mal grösser sein müssten, als die der genannten Bestandtheile des Wassers.

II.

Ueber ungesättigte Verbindungen (1883).

(Zu S. 314.)

Das Vorkommen ungesättigter Verbindungen liesse sich durch die Annahme erklären, dass gewisse Atome einzelne schwächere Valenzstellen haben, in denen die eine Art der Elektricität zwar kräftig festgehalten wird, die andere aber so wenig, dass sie auch ganz loslassen kann, wenn die andern Valenzen einen Ueberschuss gleichnamiger E zeigen. Der Stickstoff zeigt auch sonst bekanntlich wechselnde Valenzwerthe. Während er meistens dreiwerthig erscheint, muss man ihn in NH_4Cl und ähnlichen Verbindungen als fünfwerthig betrachten. Drei seiner Valenzen müssen kräftig $-E$ anziehen, eine vierte (nämlich für das vierte H im Salmiak) schwach. Drei dagegen müssen auch mässig starke Anziehung für $+E$ haben. Wenn nun drei bivalente Atome elektrisch neutralen Kupfers sich in Salpetersäure auflösen:



$$3\,Cu + 8\,NO_3H = 3\left[\begin{matrix} NO_3 \\ NO_3 \end{matrix}\right\} Cu\Big] + 4[H_2O] + 2[N.O],$$

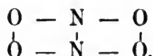
so muss aller H positive Ladung behalten, und die 3 vorher negativen Valenzen vom Cu solche bekommen. Drei Aequivalente $-E$ werden also an die zwei Atome NO übergehen müssen,

Digitized by Google

lassen sich aber nicht in zwei gleiche Hälften theilen. Das gesättigte Atom



haftet offenbar nicht zusammen, während das auch leicht zerfallende Stickstoffperoxyd eine etwas bessere Bindung zulässt:



Nimmt man an, dass in der Hälfte der Atome $+E$ eine schwache Valenzstelle losgelassen hat, die nur $-E$ stark binden könnte, dass in der anderen Hälfte der Atome die betreffende Stelle $-E$ festhält, und jene losgelassene $+E$ als elektrostatische Ladung durch die genannte $-E$ gebunden wird, so wäre dies eine Vertheilung, in der jedes Atom neutral wäre, die eine Hälfte der Atome aber ein Aequivalent beider Elektricitäten mehr enthielte als die andere.

Digitized by Google

ÜBER DIE

ELEKTRISCHEN MAASSEINHEITEN

NACH DEN

BERATHUNGEN DES ELEKTRISCHEN CONGRESSES,

VERSAMMELT ZU PARIS 1881.

Vortrag,

gehalten im Elektrotechnischen Verein zu Berlin
im December 1881.

Digitized by Google

Die Elektrotechnik hat sich allmälig so weit entwickelt, dass sie jetzt ungeheure Kapitalien in Anspruch nimmt und eine ausserordentlich rege Industrie repräsentirt. Unter diesen Umständen kann es nicht fehlen, dass Streitfragen, welche dieselbe betreffen, vor die Gerichte kommen und sich die Nothwendigkeit fühlbar macht, die Sache gesetzlich zu ordnen, namentlich die Maasseinheiten festzustellen, auf die man bei solchen Entscheidungen zurückgehen kann. Wenn ein Fabrikant übernimmt, den Draht für eine Leitung zu liefern, so wird es wesentlich darauf ankommen, dass der Widerstand des Drahtes eine gewisse Grenze nicht übersteigt, und es kann zur gerichtlichen Entscheidung kommen, ob der Draht den Bedingungen des Contractes entspricht. Ebenso wird ein anderer Fabrikant, der die Anfertigung einer dynamo-elektrischen Maschine übernimmt, sich verpflichten müssen, dass die Maschine bei einer bestimmten Umlaufsgeschwindigkeit eine bestimmte elektromotorische Kraft hervorbringt; es wird also auf das Maass für die elektromotorische Kraft der Maschine ankommen. In anderen Fällen, z. B. bei der Legung von unterirdischen Kabeln, kommt es auf die elektrostatische Capacität der Kabel, also auf die Dicke ihrer isolirenden Hülle und auf deren elektrostatisches Inductionsvermögen an. Je grösser die Capacität ist, desto langsamer können die Zeichen gegeben werden; es wird auch da verlangt werden müssen, dass die elektrische Capacität eine Grenze habe; eine solche muss festgesetzt und es muss entschieden werden können, ob die Bedingungen eingehalten worden seien. Alles dieses wäre nicht nöthig, so lange ein Techniker Alles allein zu liefern hat; dann kann man vielleicht von ihm verlangen, dass die in anderer Weise zu messende Leistung, welche beabsichtigt ist, richtig zu Stande komme, sei es die Menge eines galvanoplastischen Niederschlages, oder die Schnelligkeit im Telegraphiren, die Stärke des Lichtes u. s. w.

Digitized by Google

Aber wenn verschiedene Fabrikanten, die nur einzelne Theile liefern, mit einander concurriren, so kann ein jeder nur verpflichtet werden auf die elektrische Leistung desjenigen Theiles des Apparates, welchen er liefert.

Es hat sich, wie es scheint, namentlich in England und in den englisch sprechenden Ländern herausgestellt, dass eine gesetzliche Ordnung nöthig wurde. Namentlich scheint dort schon eine grosse Verschiedenheit der Widerstandsmaasse, welche von verschiedenen Fabrikanten geliefert wurden, eingetreten zu sein. Dies bedingt nun auch Verlegenheiten für die Gerichte, welche eine Entscheidung treffen und den Verkehr sichern sollen. Wir waren in Deutschland verhältnissmässig noch in guter Lage, weil wir ein sehr genau ausführbares Maass für den Widerstand hatten, wie es von Herrn Dr. Werner Siemens vorgeschlagen war, und weil dessen Fabrik fast die einzige war, welche Widerstandsetalons in grösserer Menge geliefert hat. Darum ist es bei uns zu dergleichen Schwierigkeiten, wie in England, bisher noch nicht gekommen, und deshalb hat sich dort die Nothwendigkeit einer gesetzlichen Regelung viel mehr fühlbar gemacht als bei uns. Andererseits ist auch die Wissenschaft dabei nicht unbetheiligt, wenn es sich um Regelung dieser Angelegenheit handelt. Denn es werden auch die wissenschaftlichen Arbeiten ausserordentlich erleichtert, wenn man Instrumente benutzen kann, die fabrikmässig in grosser Menge gemacht werden. Theils lassen sich dann complicirtere Apparate in grösserer Anzahl von wissenschaftlichen Instituten anschaffen und benutzen, weil der Preis geringer wird; theils werden sie, wenn sie in grosser Zahl für technische Zwecke angefertigt werden, viel mehr controlirt, allmälig von ihren Fehlern befreit und verbessert. Damit wächst also die Vortrefflichkeit der Ausführung. So ist in diesem Falle die Wissenschaft sehr wesentlich daran mitbetheiligt, dass, wenn einmal gesetzliche Maasseinheiten festgestellt werden sollten für die Technik und für die praktische Rechtsprechung, sie auch so hergerichtet werden, dass sie der Wissenschaft möglichst gut dienen. Von den Wirkungen der Elektricität sind hauptsächlich die elektromagnetischen praktisch wichtig geworden, und es war daher natürlich, dass auf diese Wirkungen die Maasseinheit begründet wurde. Das Princip, um eine solche Maasseinheit zu bestimmen, welche stets in genauer Weise wieder gefunden werden kann, war ursprünglich von Gauss in Bezug auf den Magnetismus gegeben, und von seinem Mitarbeiter Wilhelm Weber auf

Digitized by Google

das Gebiet der elektromagnetischen Erscheinungen übertragen worden. Die Grundlage, auf welche Weber diese Bestimmung gegründet hat, war das Ampère'sche Gesetz für die Wirkung von je zwei kurzen stromleitenden Drahtstücken auf einander. Wenn wir die mechanische Wirkung zweier Stromkreise auf einander berechnen wollen, deren verschiedene Theile sehr verschiedene Entfernung von einander und verschiedene Richtung gegen einander haben, so muss man jeden Draht in so kleine, kurze Theile getheilt denken, dass deren Länge noch als unbedeutend im Vergleich zu ihrer gegenseitigen Entfernung angesehen werden kann, und man muss dann die Wirkungen aller Theile des einen Drahts auf alle des andern addiren. Nun sagt die Ampère'sche Regel, dass man jeden der beiden in einem Paar solcher Drahtstücke fliessenden Ströme in zwei Componenten zu zerlegen hat, von denen eine in die Richtung ihrer Verbindungslinie fällt (deren Länge ich mit r bezeichnen will), die andere senkrecht dagegen. Dann kann man die Wirkung, welche diese beiden Stücke des Stromes auf einander ausüben, zurückführen auf diejenige, welche jede Componente des einen Stroms auf die parallel gerichtete des andern ausübt. Das quer zur Verbindungslinie gerichtete Paar wirkt anziehend, wenn beide Ströme gleich gerichtet sind, und die anziehende Kraft ist dann nach Ampère proportional der Stromstärke i des angezogenen Stromes, und der Länge des von ihm durchflossenen Drahtstückes l, ebenso aber auch der Stromstärke j des anziehenden Stromes und seiner Drahtlänge λ, dagegen umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung r. Also wäre die Kraft proportional zu setzen der Grösse:

$$\frac{2\,ij\,.\,l\,.\,\lambda}{r\,.\,r}.$$

Den Factor 2 habe ich hinzugesetzt, um nicht auf die unnöthige Unterscheidung der elektromagnetischen und elektrodynamischen Maasseinheiten, wie sie von W. Weber definirt worden sind, eingehen zu müssen.

Wenn nun noch kein Maass bestimmt ist für die Messung der Stromstärke und alles noch willkürlich ist, so würde man das Maass für die Stromstärke auch so wählen können, dass jener Ausdruck nicht bloss proportional, sondern auch gleich der Grösse der Anziehungskraft k wird. Also:

$$k = 2\,ij \cdot \frac{l\,.\,\lambda}{r\,.\,r}.$$

Digitized by Google

Wenn man diese Ausdrücke gleichsetzt, so haben wir dadurch eine bestimmte Einheit für die Messung der beiden Stromstärken, die hier vorkommen, vorgeschrieben.

Das zweite oben erwähnte Paar von Componenten wirkt genau nach demselben Gesetz, nur ist der Factor 2 wegzulassen und die Kraft gleichgerichteter Ströme ist abstossend.

Wenn Sie nun beachten, dass der Factor $\frac{l \, . \, \lambda}{r \, . \, r}$ im Zähler und im Nenner das Product zweier Längen enthält, also sich auf einen Zahlenfactor reducirt, so sehen Sie, dass die obige Gleichung das Product zweier Stromstärken gleich einer Kraft setzt.

Nun pflegte man ursprünglich eine Kraft zu vergleichen mit der Schwere eines Gewichtes. Dann wäre sie zu setzen gleich der Grösse einer Masse, multiplicirt mit der Intensität der Schwere. Denn diese ist an den verschiedenen Theilen der Erde verschieden; an den Polen ist sie anders wie an dem Aequator. Das Gramm ist also nicht überall gleich schwer, und wenn man überall gleiches Maass haben will, so muss man das Maass der Masse multipliciren mit der Intensität der Schwere. Diese aber wird gemessen durch die Geschwindigkeit, welche ein frei fallender Körper in der ersten Secunde erlangt.

Eine Geschwindigkeit ist aber eine Länge, dividirt durch die Zeit, $\frac{l}{t}$. Hier handelt es sich um die Geschwindigkeit, welche in einer gewissen Zeit gewonnen worden ist. Wir müssen sie also noch einmal durch t dividiren, um die Grösse g zu bekommen, und so erhält man schliesslich das Resultat, dass ij eine Grösse gleicher Art wie eine Kraft, oder wie $\frac{m \, . \, l}{t \, . \, t}$ sei. Dieses Princip der Messung ist zuerst durchgeführt worden von W. Weber. Er hat versucht, wirkliche Ströme nach diesem Maasse zu definiren, zunächst mit der Tangentenbussole. In derselben lässt sich, wenn man die Einheit in der genannten Weise festsetzt, ebenso direct ein Ausdruck finden für die Grösse der magnetischen Kraft, welche der Strom hervorbringt. Diese wird gegeben für die Mitte des Kreises einer Tangentenbussole vom Radius r durch $\frac{2\pi \, . \, i}{r}$. Sie sehen also, die magnetische Wirkung von Drahtring und Spirale kann, wenn sie durchströmt wird von elektrischen Strömen, deren Intensität nach dem Gauss-Weber'-

schen Princip gemessen werden kann, direct berechnet werden. Um aber solche Messungen nach W. Weber's Vorgang mit der Tangentenbussole auszuführen, muss man die Stärke des Erdmagnetismus am Orte der Beobachtung im absoluten Maasse kennen. Wenn diese gegeben ist, so ist das Verhältniss zwischen der magnetischen Kraft des Stromes und der der Erde gleich der trigonometrischen Tangente des Winkels, um den die Magnetnadel abgelenkt ist. Wird dieser Winkel gemessen, so hat man Alles, was nöthig ist, um die Intensität des Stromes in Weber'schem Maasse zu berechnen. W. Weber selbst hat bei dieser Rechnung, nach dem Vorgang von Gauss, das Milligramm als Einheit der Masse, das Millimeter als die der Länge und die Secunde als Einheit der Zeit gebraucht.

Um Ihnen eine ungefähre Vorstellung von der Grösse des Stromes zu geben, der der Weber'schen Einheit entspricht, führe ich an, dass derselbe hervorgebracht wird durch einen Daniell, welcher in einem Kreise von 11,7 Siemens-Einheiten wirkt. Es ist also ein relativ schwacher Strom. Derselbe könnte auch weiter charakterisirt werden durch die Menge von Wasser, die er zersetzt in einer gegebenen Zeit. Solche Beobachtungen sind von verschiedenen Beobachtern gemacht worden, haben aber ziemlich wechselnde Resultate ergeben. Zuerst ist eine solche Bestimmung gemacht worden von Robert Bunsen. Diese ergab, dass ein Strom von der Weber-Einheit in einer Secunde 0,0092705 mg Wasser zersetzte. Der englische Physiker Joule fand bei einer ähnlichen Bestimmung 0,009239. Neuerdings hat Hr. F. Kohlrausch, mit Hülfe der Beobachtungsmittel des magnetischen Observatoriums in Göttingen, die Bestimmung sehr sorgfältig wiederholt und gefunden 0,009476. Die Uebereinstimmung ist nicht gerade sehr gut; überhaupt kranken alle diese elektromagnetischen Bestimmungen an der Veränderlichkeit des Erdmagnetismus. Dieser wechselt fortdauernd seine Richtung und Intensität, und durch die Tangentenbussole können wir nur das Verhältniss zwischen der Stromstärke und der Stärke des Erdmagnetismus bestimmen. Dazu kommt, dass nicht jeder Beobachter in einem eisenfrei gebauten magnetischen Observatorium arbeiten kann. In unseren Häusern und Laboratorien liegen überall unter den Fussböden und in den Wänden eiserne Schienen, welche magnetisch werden, so dass an verschiedenen Stellen desselben Hauses, ja selbst in verschiedenen Ecken desselben Zimmers, der Erdmagnetismus Abweichungen zeigt, die bis zu

Digitized by Google

10 Proc. steigen können. Die Bestimmung der Menge des zersetzten Wassers erfordert mindestens eine Viertelstunde Zeit, wenn die Zeitdauer des Versuches auch nur auf ein pro Mille genau bestimmt werden soll. Während dieser Zeit muss die Stromstärke möglichst constant gehalten werden, oder ihre kleinen Veränderungen müssen wenigstens fortwährend notirt werden. Aber auch der Erdmagnetismus ändert fortdauernd seinen Werth. Es ist also nicht genug, ihn einmal an dem bestimmten Orte bestimmt zu haben. Auch dies müsste während der Dauer des Versuches fortdauernd geschehen. Wenn man also nicht die Hülfsmittel eines vollständig eingerichteten magnetischen Observatoriums hat und nicht mehrere Beobachter gleichzeitig anstellen kann, von denen einer am Bifilarmagnetometer die Schwankungen des Erdmagnetismus verfolgt,. während der andere die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom aufschreibt, so kann man zu keiner grossen Genauigkeit gelangen.

Was die Namen der so bestimmten Maasse betrifft, so hatten wir in der wissenschaftlichen Sprache zunächst ihre Bezeichnungen durch Gewicht, Länge und Zeit in den Combinationen dieser Grössen, die die Rechnung ergeben hatte, beibehalten. Es wurde also gesagt, dass eine Stromstärke, die man beobachtet hat, gleich ist einer Zahl n; dann kam folgende Einheit

$$i = n \cdot \frac{\sqrt{mg \,.\, mm}}{t},$$

dagegen eine elektromotorische Kraft:

$$a = n \cdot \frac{\sqrt{mg \,.\, mm^3}}{t^2}.$$

Es ist unverkennbar äusserst unbequem, wenn man viel von so zusammengesetzten Einheiten zu reden oder zu schreiben hat. Die Beobachter liessen daher die Bezeichnung der Einheiten oft aus, nachdem sie sie anfangs in Worten angegeben hatten. Dann musste man die ganzen Bücher absuchen, um zu finden, was gemeint war, und war der Autor im Laufe seiner Abhandlung gar einmal von Milligrammen auf Gramme, oder von Millimetern auf Centimeter übergegangen, so war man den unangenehmsten Irrthümern ausgesetzt. Es empfahl sich in der That, wenn man viel von solchen Messungen der Stromstärke, oder der elektromotorischen Kraft, oder des Widerstandes zu reden hatte, dass man irgend welche neue Namen wählte, welche wohl definirte Ein-

Digitized by Google

heiten dieser Art bezeichneten. Wie ich auseinander gesetzt habe, in Bezug auf die Messungen der Stromstärke hat man in Deutschland meistentheils nach der Weber'schen Einheit gerechnet, und zwar so, wie sie von ihm zuerst festgesetzt worden war, ausgedrückt durch Millimeter, Milligramm und Secunde.

Die Einheit des Widerstandes bestimmt sich im Gauss-Weber'schen System durch den Umstand, dass die Wärmeentwickelung in einem Drahte von dem Widerstande w in der Zeit t proportional ist dem Product $i.i.w.t$. Die Ursache dieser Wärmeentwickelung ist, dass ein Theil der Arbeitskraft bei der Bewegung der Elektricität, wie bei der schwerer Massen, verloren geht durch einen Process, der der Reibung ähnlich ist. Diese Wärmemenge ist also verlorene Arbeit und als solche zu messen. Wenn der Werth des Widerstandes noch nicht bestimmt ist, so lässt er sich nun so bestimmen, dass die Grösse $i.i.w.t$ nicht nur proportional, sondern gleich wird einer Arbeit. Diese aber wird dargestellt durch eine Kraft k, die längs eines bestimmten Weges wirkt, und gemessen durch das Product $k.l$. Wenn wir z. B. Arbeit durch ein gehobenes Gewicht messen, so ist sie gleich dem Product aus der Schwere des Gewichtes und der Hebungshöhe, letztere ist in diesem Falle die Länge des Weges. Sie sehen also, dass wir Arbeit gleich setzen können einer Kraft mal einer Länge. Nun ist im elektromagnetischen System das Product $i.i$ eine Kraft k und wenn also $i.i.w.t$ proportional einer Arbeit, d. h. einem Product kl sein soll, so ergiebt sich, dass $w = \frac{l}{t}$ das Maass des Widerstandes im elektromagnetischen System ist, also eine Geschwindigkeit. Auch die Inductionsströme kann man benutzen, um zu einem Maass des Widerstandes zu kommen. Das Resultat ist das gleiche; denn es sind diese Inductionsströme auch verlorene Arbeit, verloren für die elektrischen Kraftvorräthe, die aber hierbei übergeführt ist in mechanische Arbeitskraft. Der Erste, welcher eine Bestimmung des Widerstandes in dieser Weise gegeben hat, war unser Mitglied Prof. G. Kirchhoff, der schon im Jahre 1849 die ersten Bestimmungen nach dem Gauss-Weber'schen System angestellt hat. Um dieselbe Zeit hat M. H. Jacobi in Petersburg einen willkürlichen Draht anfertigen lassen und ihn als Widerstandseinheit, als den sogenannten Jacobi'schen Etalon, verbreiten lassen, damit die Physiker sich über die Widerstände verständigen könnten, die bei ihren Versuchen vorkamen.

Digitized by Google

Wenn wir nun die Weber'schen Maasseinheiten zu Grunde legen, so zeigt sich, dass eine solche Widerstandseinheit, wie die Siemens'sche, die bequem ist für praktische Zwecke, im Weber'schen Maass ausgedrückt auf die Anzahl von nahehin 10 000 Millionen Millimeter, dividirt durch eine Secunde, führt. Wenn man von Widerständen langer Telegraphenleitungen zu sprechen hätte, würde man bei diesen Zahlen mit unübersehbaren Reihen von Nullen zu thun haben. Andererseits zeigt sich, dass man bei der Berechnung der elektromotorischen Kräfte, wie man sie in der Praxis braucht, z. B. der eines Daniell, auf ähnliche riesige Zahlen kommt, wenn auch für die Bestimmungen der Stromstärke die Weber'sche Wahl nicht ungünstig war. Es war vor einer Reihe von Jahren, als die *British Association* die Aufgabe in die Hand nahm, eine Wahl von passenden Einheiten zu treffen und passende Namen dafür festzustellen. Es wurde zu dem Ende eine Commission ernannt, deren leitende Mitglieder die berühmten Physiker W. Thomson und Clerk Maxwell waren. Man entschied sich, die Einheiten aus dem metrischen Systeme zu nehmen, aber andere Vielfache des Meter und Unterabtheilungen des Gramm zu wählen, um die elektrischen Maasse in kleineren Zahlen auszudrücken. In dieser Beziehung hat in der That die *British Association* schliesslich eine sehr zweckmässige Wahl getroffen. Die französische Commission, welche das metrische System ursprünglich festgesetzt hat, definirte das Meter als den zehnmillionsten Theil des Meridianquadranten, der durch Paris geht. Man beschloss nun, dass für die elektrischen Messungen als Längeneinheit nicht mehr das Millimeter oder Centimeter benutzt werden sollte, sondern die dem genannten Erdquadranten nahe gleiche Länge von zehn Millionen Meter, dieselbe, welche ursprünglich benutzt worden ist, um das metrische System festzustellen. Nimmt man 10 000 000 m als die Längeneinheit an und dividirt diese durch die Secunde, so giebt das ein Maass des Widerstandes, das dem Siemens'schen ziemlich nahe kommt und von den Engländern mit dem Namen Ohm belegt worden ist. Dazu musste aber nun eine entsprechend verkleinerte Gewichtseinheit gewählt werden. Um das Verhältniss leicht zu behalten, merke man sich, dass die Längeneinheit 10^9 cm oder eine Milliarde Centimeter beträgt, und die Gewichtseinheit, welche hier statt des Gramms eintreten sollte, 10^{-9} cg oder 1 cg dividirt durch eine Milliarde. Nach diesen Feststellungen wird die Siemens'sche Widerstandseinheit

Digitized by Google

nahezu gleich Eins. Die Siemens'sche Widerstandseinheit ist nach den Bestimmungen der *British Association* gleich 0,95302 Ohm, beide stehen also ungefähr im Verhältniss von 21:22. Andererseits zeigt sich dann, dass die Einheit der elektromotorischen Kraft, das Volt, nach der englischen Bezeichnung, bestimmt durch die genannten Längen- und Gewichtseinheiten, ungefähr gleich wird der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Elements, gebaut mit Zinklösung; letztere ist nämlich gleich 1,09 Volt. Die elektromotorische Kraft ergiebt sich, wie schon vorher erwähnt, als das Product aus der Intensität mit dem Widerstand des Stromkreises. Volta war es, der die Existenz einer solchen Kraft zuerst nachwies, daher die Wahl seines Namens für diese Kraft sehr passend erscheint, ebenso wie die des Namens Ohm für das Widerstandsmaass, da Ohm den Einfluss des Widerstandes auf die Stromstärke zuerst richtig festgestellt hatte. Es war dies eine geschickte Wahl der Einheiten, die das metrische System darbietet, um in dem Gauss-Weber'schen Systeme Einheiten von praktischem Werthe zu gewinnen.

Theoretisch war dies Alles nun sehr schön und zweckmässig ausgesonnen, wenn es möglich war, nach diesem Systeme wirklich praktisch die Einheiten auch messend zu bestimmen. Nach den Ampère'schen und Neumann'schen Gesetzen für die elektromagnetischen Fernwirkungen und nach dem von Lenz und Joule gefundenen Gesetz für die Wärmeentwickelung im Stromkreise kann man die Anziehungen und Abstossungen der Stromleiter, die Grösse der Inductionsströme und den Arbeitsverlust durch Wärmeentwickelung in den Drahtleitungen unmittelbar berechnen, wenn die elektromotorischen Kräfte, die Stromintensitäten, die Widerstände nach den Maasseinheiten dieses Systems gemessen sind.

Von den Schwierigkeiten, die Stromeinheit praktisch zu bestimmen durch ihre chemische Wirkung, habe ich schon gesprochen; es zeigte sich, dass die absolute Bestimmung des Ohm und Volt um nichts leichter war. Es mussten sehr complicirte Apparate, zum Theil von grossen Dimensionen mit ungeheuren Massen von Drahtwindungen, erbaut werden, um die Bestimmungen machen zu können. Die Versuche sind hauptsächlich nach den Plänen und unter Leitung von Clerk Maxwell im Laboratorium der Universität Cambridge ausgeführt und Etalons des Ohm hergestellt worden; aber die Herstellung und Uebereinstimmung der verschiedenen Etalons ist nicht sehr weit gediehen.

Digitized by Google

Ich will Ihnen nur ein paar Zahlen von den verschiedenen Bestimmungen geben und dabei bemerken, dass die Siemens-Einheit viel leichter sehr genau zu bestimmen ist, und dass also die Schwankungen in den Zahlen nicht in der Bestimmung der Siemens-Einheit, sondern in der des Ohm zu suchen sind. So beträgt z. B. 1. der Werth, den die *British Association* gefunden hat, 1 Siemens = 0,95302 Ohm; 2. der Werth, den Prof. F. Kohlrausch gefunden hat, 0,9717 Ohm; 3. der Mittelwerth einer Reihe von Bestimmungen, die neuerdings Professor Fr. Weber in Zürich ausgeführt hat, 0,9550 Ohm[1]). Also schon in der zweiten Stelle sind Abweichungen von zwei Einheiten. Es hatte schon, ehe noch vom Elektrischen Congress die Rede war, Lord Rayleigh im Laboratorium der Universität Cambridge den Anfang gemacht, die Versuche zu wiederholen; er hatte auch die Rechnungen prüfen lassen und dabei gefunden, dass ein Rechenfehler vorgekommen war, der sogar einen noch bedeutenderen Einfluss hatte, als die Fehlerquellen experimenteller Art, so dass das Ohm vielleicht um 1 bis 2 Proc. falsch bestimmt war. Die älteste Bestimmung von Gustav Kirchhoff ist leider nur durch die Dimensionen eines Kupferdrahtes angegeben, unter der Voraussetzung, dass Kupfer immer ziemlich gleichen Widerstand darbietet, was, wie wir jetzt wissen, leider nicht der Fall ist.

Das war also der Zustand der Dinge, wie er sich auf der Grundlage der Gauss-Weber'schen Versuche entwickelt hatte. Inzwischen hatte Herr Werner Siemens den sehr dankenswerthen Schritt gethan, auf anderem Wege nach einem genau präcisirten Widerstand zu suchen, der mit verhältnissmässig viel einfacheren Apparaten und doch mit sehr grosser Genauigkeit hergestellt werden kann. Dadurch, dass ihm das gelungen ist mit seiner Quecksilbereinheit, hat er einen grossen Fortschritt in Bezug auf die Vergleichbarkeit elektrischer Messungen bewirkt. Die Siemens-Einheit hat die Möglichkeit für sich, zu jeder Zeit eine genaue Controle eintreten lassen zu können, welche leicht auszuführen ist. Die Quecksilbereinheit wird bestimmt durch den Widerstand eines Quecksilberfadens von 1 m Länge und von 1 qmm Querschnitt bei einer Temperatur von 0°. Quecksilber ist verhältnissmässig leicht in einem hohen Grade von Reinheit

[1]) Eine Uebersicht neuerer Bestimmungen s. in dem Zusatze am Schlusse dieses Vortrages.

Digitized by Google

zu beschaffen. Der Querschnitt der Röhre, die das Quecksilber enthält, kann durch Füllung derselben mit Quecksilber und Wägung leicht sehr genau bestimmt werden. Nun hat das Quecksilber als Widerstandsmaass den festen Metallen gegenüber den grossen Vorzug, dass es eine Flüssigkeit ist, die ihre molekulare Structur nicht verändern kann, während wir andererseits wissen, dass Drähte aus festen Metallen, wenn starke Ströme hindurchgehen, ihren Krystallisationszustand und dabei ihr Leitungsvermögen nicht unwesentlich verändern. Es sind diese Aenderungen noch verhältnissmässig wenig studirt, und wir wissen also z. B. noch nichts darüber, ob die Kupferdrähte, welche von der *British Association* als Etalons des Ohm verwendet worden sind, nicht ihre Structur merklich verändert haben oder verändern werden. Die *British Association* hat drei Drähte anfertigen lassen, die schon jetzt kleine Abweichungen von einander zu zeigen scheinen, und ausserdem sind von verschiedenen Ateliers ungenaue Copien angefertigt worden, so dass gegenwärtig schon eine ziemliche Verwirrung herrscht in Bezug auf die Widerstandseinheit in denjenigen Ländern, wo das Ohm angewandt wurde.

Das war die Lage der Sache, die der 1881 zu Paris abgehaltene elektrische Congress zu ordnen hatte; es war nicht zu verkennen, dass die englische Ausführung des ursprünglich deutschen Systems von Gauss und Weber ihre Vorzüge hat, wenn es möglich ist, sie wirklich genau auszuführen. Nun war es ein wesentliches Bedürfniss, zu erreichen, dass, wenn die beiden Ländergruppen nicht genau dasselbe Maass anwendeten, sie doch wenigstens Maasseinheiten gebrauchten, die durch einen blossen Zahlenfactor mit Sicherheit in einander umzurechnen sind. An das Siemens'sche System haben sich angeschlossen Oesterreich, zum Theil auch Russland und ein Theil der östlichen Länder, das englische System dagegen ist verbreitet nicht nur über England und die englisch sprechenden Länder, sondern auch über Frankreich. Da in den beiden Ländergruppen eine grosse Zahl von Widerstandsscalen hergestellt ist, die immerhin ein beträchtliches Capital von Arbeit und Geld repräsentiren, so ist nicht anzunehmen, dass diese so leicht weggeworfen werden, um ein anderes System einzuführen.

Was aber erreichbar schien, war, dass die Uebereinstimmung der Maasse bis auf eine leicht auszuführende Umrechnung durch einen Zahlenfactor möglich gemacht werde. Das Ohm ist nicht weit von der Siemens-Einheit entfernt, und ebenso wie wir

Digitized by Google

mit Mark und Schilling ohne Schwierigkeit rechnen, die beide durch Goldwerthe bestimmt sind, ebenso leicht werden wir die Bezeichnungen Ohm und Siemens auf einander reduciren, wenn beide in Quecksilberlängen ausgedrückt sind.

Nun haben die englischen Physiker zugegeben, dass ihre Ohms nicht genau mit einander übereinstimmen, dass feste Metalle zu Etalons nicht zulässig seien, und sie haben demzufolge die Grundlage des Siemens'schen Maasssystems wenigstens insoweit acceptirt, dass der Congress beschliessen konnte, die Grösse des durch eine internationale Commission genauer als bisher festzustellenden Ohm sei durch die Länge einer Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt, d. h. in Siemens'schen Einheiten, auszudrücken. Dass diejenigen, welche einmal das Ohm eingeführt haben, dabei stehen geblieben, dass sie dasselbe beibehalten und nur genauer bestimmen wollen als bisher, hat am Ende seine berechtigten Motive. Daneben aber wird auch Deutschland frei sein, seine Widerstandsmaasse auszudrücken in Quecksilberlängen von 1 qmm Querschnitt und so und so viel Meter Länge, d. h. in Siemens'schem Maasse. Die Reduction ist dann leicht und vollkommen sicher. Falls wir das Siemens-Maass beibehalten sollten, würde immerhin die von dem Congress einer internationalen Commission übertragene Bestimmung der genauen Länge des Ohm auch für uns den Vortheil haben, dass wir die genauen Werthe erhalten für die Berechnung der inducirten Ströme und für den Kraftverlust, den ein gegebener Strom erleidet, wenn er durch einen Widerstand von gegebener Länge fliesst. Das sind wichtige Punkte, welche die ganze elektrische Technik beherrschen und genau bestimmt werden müssen, wenn man sicher rechnen will. Die Bestimmung des Ohm ist eine Bestimmung der Grösse dieser Wirkungen und also wichtig auch für diejenigen Länder, in denen die Scalen der Siemens'schen Einheit verbreitet sind, und die deshalb vielleicht vorziehen, bei dieser zu bleiben. Wir haben hier in Deutschland die Schwierigkeiten ungenauer Maasse noch wenig gefühlt, weil unsere Etalons aus einer und derselben und zwar sehr gewissenhaft geleiteten Fabrik kommen. Ich kann in dieser Beziehung ja auch mein Zeugniss ablegen, da hier im physikalischen Laboratorium die Studirenden, welche sich in physikalischen Arbeiten üben, Widerstände zu vergleichen haben; ich lege ihnen immer Siemens-Etalons vor, um sie controliren zu lassen, ob diejenigen Abtheilungen, welche gleich sein sollen, auch wirklich

Digitized by Google

gleich sind. Da findet sich dann selbst in den grossen Abtheilungen von 100 oder 1000 Einheiten selten ein Fehler, der über ein Hundertstel der Einheit hinausgeht. Wir haben somit schon ein sehr gutes, praktisch bewährtes Messungssystem, und es ist die Frage, ob wir uns entschliessen werden, es zu verlassen, um zu einem anderen, dessen genaue Ausführbarkeit erst noch erprobt werden muss, überzugehen. Uebrigens hat sich, wie sich nicht leugnen lässt, die Einführung der kurz zusammenfassenden Namen, welche die *British Association* eingeführt hat, offenbar sehr gut bewährt. Es ist dadurch eine grosse Kürze und Bestimmtheit der Sprache gewonnen, und es handelte sich jetzt nur noch darum, dieses System von Namen noch etwas zu erweitern und von Zweideutigkeiten zu befreien.

Die *British Association* hatte ursprünglich nur das Ohm und als Maass der elektromotorischen Kraft, das Volt, festgestellt und benannt. Sie hatte dagegen keinen besonderen Namen für die Einheit der Stromstärke vorgeschlagen, da für diese schon Weber's Bestimmung da war und diese nicht übereinstimmte mit der Einheit: $i = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}}$. Letztere ist nach der deutschen Bestimmung gleich zehn Weber-Einheiten, die auf Millimeter und Milligramm bezogen sind. Inzwischen hatten die englischen Elektriker das Bedürfniss gefühlt, für die Stromstärke ein besonderes Wort zu haben und angefangen, den Namen Weber auch für die englische Einheit zu gebrauchen. So hatten wir also zwei Weber-Einheiten, von denen die englische zehn mal so gross war als die deutsche. Das ist nun eine ganze Zeit lang so gegangen; englische Angaben gingen in deutsche Bücher über und deutsche in englische, die bald die eine, bald die andere Einheit meinten, wodurch schliesslich eine gründliche Confusion entstand. Gerade dadurch, dass die *British Association* vermieden hatte, den Namen Weber zu gebrauchen, war es verhältnissmässig schwer herauszubringen, was dabei eigentlich vorgegangen war. Ich selbst habe es erst vor zwei Jahren bemerkt und meine Schüler darauf aufmerksam gemacht. Es ist durchaus nöthig, den Namen Weber von dieser Zweideutigkeit zu befreien. Da Weber definirt hatte, was unter Stromstärke zu verstehen sei, und in den meisten deutschen Arbeiten diese, verbunden mit der Siemens-Einheit, sowie das Product von beiden als Einheit der elektromotorischen Kraft gebraucht wurde, so haben wir darauf bestanden, dass der Name Weber in seiner ursprünglichen Be-

Digitized by Google

deutung stehen blieb, und dass für die englische Stromeinheit ein neuer Name eingeführt wurde, und dazu hat man Ampère gewählt. Dieser soll bezeichnen den Strom, der von einem Volt erregt wird bei dem Widerstande eines Ohm. Dann fanden die englischen Physiker es wünschenswerth, für die Einheit der Quantität der Elektricität einen Namen zu finden; leider hatten sie den Namen Faraday schon vergeben, indem sie das Maass der elektrostatischen Capacität mit Farad bezeichnet hatten. Sie haben deshalb den Namen Coulomb gewählt, der selbst allerdings elektrische Quanta nur durch ihre elektrostatischen, niemals durch ihre elektromagnetischen Wirkungen gemessen hat. Es ist demnach ein Coulomb gleich der Quantität Elektricität, die den Querschnitt eines Drahtes bei der Stromstärke eines Ampère in einer Secunde durchfliesst, und andererseits ist auch ein Coulomb gleich der Quantität Elektricität, welche ein Condensator von der Capacität eines Farad unter der elektromotorischen Kraft eines Volt aufnimmt. Letztere Bestimmung definirt das Farad. Also:

$$\text{Coulomb} = \text{Ampère} \times \text{Secunde}$$
$$= \text{Volt} \times \text{Farad.}$$
$$\text{Volt} = \text{Ampère} \times \text{Ohm.}$$

Es lässt sich nicht leugnen, dass in vielen Beziehungen die Anwendung der einfach bezeichnenden Namen, welche gewählt sind für passende Grössen, eine grosse Erleichterung gewährt. So wird, wenn es sich um Quantitäten handelt, die Ladung einer Leydener Batterie, eines Condensators oder eines unterirdischen Kabels durch Coulombs zu messen sein, ebenso die Grösse eines momentanen Inductionsstromes oder die Elektricitätsmenge, welche von 1 mg Wasserstoff mitgeführt wird, wenn es sich ausscheidet an einer Platinplatte. Es ergiebt 1 mg Wasserstoff 97 Coulomb. Schliesslich, wenn die Bestimmung des Ohm durch die neue internationale Commission vollendet sein wird, wird es immer noch von der deutschen Regierung abhängen, welches System sie ihren gesetzlichen Bestimmungen zu Grunde legen will. Wie ihre Wahl ausfällt, für die technischen und wissenschaftlichen Anwendungen sind die wesentlichen Vortheile eines guten Maasssystems gesichert. Diejenigen, welche mit diesen Elektricitätseinheiten zu rechnen haben, werden fast alle mit dem Gebrauch der Logarithmentafeln bekannt sein, und es wird ihnen nicht darauf ankommen, ob sie einen Factor an der einen

Digitized by Google

oder anderen Stelle der Rechnung einzufügen haben. Aber wichtig ist es, dass die Sache so weit geführt wird, dass die verschiedenen Länder sich über ihre Maasse werden verständigen können mit Hülfe genau festgestellter Zahlenfactoren, und insofern sind auch wir dabei betheiligt, dass in denjenigen Ländern, die nach Ohms rechnen, wenigstens ein fester Werth desselben eingeführt wird und in möglichste Uebereinstimmung mit der theoretischen Definition gebracht wird. Es wird auch für uns dadurch die Berechnung elektrischer Fernwirkungen, Inductions- oder magnetischer Wirkungen sicherer und genauer gemacht. Der Congress hat erreicht, was unter diesen Umständen zu erreichen war, es musste eben ein Compromiss bleiben; aber dadurch, dass wir gestrebt haben, alle sachlichen Verschiedenheiten auf eine Verschiedenheit von Zahlenfactoren zurückzuführen, die leicht anzuwenden sind, wird die Möglichkeit vollkommener Verständigung zwischen den civilisirten Ländern herbeigeführt, selbst wenn diejenigen, welche das Siemens-System eingeführt haben, Bedenken tragen sollten, dasselbe fallen zu lassen.

Digitized by Google

Zusatz

Den internationalen Conferenzen, welche in Paris im October 1882 und im April 1884 zusammentraten, wurden eine Reihe neuer Arbeiten vorgelegt über die Bestimmung des Ohm in Werthen der Siemens'schen Quecksilbereinheit ausgedrückt. Ich gebe unten eine von Gryll Adams gemachte Zusammenstellung dieser Werthe. Es ergiebt sich daraus schon eine ziemlich weitgehende Uebereinstimmung; wenn auch die von der Conferenz im Jahre 1882 geforderte Genauigkeit von 1 pro Mille durch die Mehrzahl der Beobachter noch nicht erreicht ist. Die diesjährige Conferenz (1884) betrachtete die Uebereinstimmung jedoch als ausreichend, um zur Feststellung des „legalen Ohm" für die technischen Zwecke zu schreiten, und beantragte den Werth festzusetzen:

$$1 \text{ Ohm} = 1{,}060 \text{ Quecksilbereinheit.}$$

Die noch bestehenden Abweichungen fallen in die Grenzen der Temperaturcorrectionen; und Scalen, welche nach der so festgesetzten Einheit getheilt sind, werden nur einer andern Bestimmung für die Normaltemperatur ihrer Gültigkeit bedürfen, um das genaue theoretische Ohm zu repräsentiren.

Tafel der von verschiedenen Beobachtern gefundenen Werthe des Ohm ausgedrückt in Quecksilbereinheiten.

Jahr	Beobachter	Werth des Ohm	Methode
1881	Rayleigh und Schuster	1,0598	Der British Association.
1882	Rayleigh	1,0628	ebenso.
1882	H. Weber	1,0614	dieselbe modificirt.

Digitized by Google

Jahr	Beobachter	Werth des Ohm	Methode
1874	F. Kohlrausch	1,0591	W. Weber's erste Methode.
1884	Mascart	1,0632	ebenso.
1884	G. Wiedemann	1,0619	ebenso mit dem grossen in Leipzig von Weber selbst construirten Apparate.
1878	Rowland	1,0579	Kirchhoff's Methode, modificirt.
1882	Glazebrook	1,0630	ebenso.
1884	Mascart	1,0632	ebenso.
1884	F. Weber	1,0537	ebenso.
1884	Roiti	1,0590	Roiti.
1873	Lorenz	1,0710	Lorenz.
1884	Lorenz	1,0619	ebenso.
1883	Rayleigh	1,0624	dieselbe modificirt.
1884	Lenz	1,0613	dieselbe.
1882	Dorn	1,0546	W. Weber's Dämpfungsmethode.
1883	Wild	1,0568	dieselbe.
1884	F. Weber	1,0526	dieselbe.
1866	Joule	1,0623	Wärmeentwicklung.
	Mittel	1,0604	

Digitized by Google

KRITISCHES.

Digitized by Google

Induction und Deduction.

Vorrede

zum

zweiten Theile des ersten Bandes der Uebersetzung von W. Thomson's und Tait's „Treatise on Natural Philosophy“.

Seitdem die Uebersetzung des ersten Theiles dieses Bandes veröffentlicht wurde, ist sowohl die ganze wissenschaftliche Richtung desselben, als insbesondere auch eine Reihe einzelner Stellen daraus von Herrn J. C. F. Zöllner in seinem Buche „Ueber die Natur der Kometen“ einer mehr als lebhaften Kritik unterzogen worden. Auslassungen gegen die persönlichen Eigenschaften der englischen Autoren oder meiner selbst zu beantworten, halte ich nicht für nöthig. Auf eine Kritik wissenschaftlicher Sätze und Principien zu erwiedern, habe ich der Regel nach nur dann für nöthig gehalten, wenn neue Thatsachen beizubringen oder Missverständnisse aufzuklären waren, in der Erwartung, dass, wenn alle Data gegeben sind, die wissenschaftlichen Fachgenossen schliesslich sich ihr Urtheil zu bilden wissen auch ohne die weitläufigen Auseinandersetzungen oder sophistischen Künste der streitenden Gegner. Wäre das vorliegende Handbuch nur für reif ausgebildete Sachverständige bestimmt, so hätte der Zöllner'sche Angriff unbeantwortet bleiben können. Es ist aber auch wesentlich für Lernende berechnet, und da jüngere Leser durch die überaus grosse Zuversichtlichkeit und den Ton sittlicher Entrüstung, in welchem unser Kritiker seine Meinungen vorzutragen sich berechtigt glaubt, vielleicht irre gemacht werden könnten, halte ich es für nützlich, die gegen die beiden englischen Autoren gerichteten sachlichen Einwendungen so weit zu

Digitized by Google

beantworten, als nöthig ist, damit der Leser sich durch eigene Ueberlegung zurecht zu finden wisse.

Unter den Naturforschern, welche ihr Streben vorzugsweise darauf gerichtet haben, die Naturwissenschaft von allen metaphysischen Erschleichungen und von allen willkürlichen Hypothesen zu reinigen, sie im Gegentheil immer mehr zum reinen und treuen Ausdruck der Gesetze der Thatsachen zu machen, nimmt Sir W. Thomson eine der ersten Stellen ein, und er hat gerade dieses Ziel vom Anfange seiner wissenschaftlichen Laufbahn an in bewusster Weise verfolgt. Eben dies erscheint mir als ein Hauptverdienst des vorliegenden Buches, während es in Herrn Zöllner's Augen seinen fundamentalen Mangel bildet. Letzterer möchte statt der „inductiven“ Methode der Naturforscher eine überwiegend „deductive“ eingeführt sehen. Wir alle haben bisher das inductive Verfahren gebraucht, um neue Gesetze, beziehlich Hypothesen, zu finden, das deductive, um deren Consequenzen zum Zwecke ihrer Verificirung zu entwickeln. Eine deutliche Auseinandersetzung, wodurch sich sein neues Verfahren von dem allgemein eingehaltenen unterscheiden solle, finde ich in Herrn Zöllner's Buche nicht. Dem von ihm in Aussicht genommenen letzten Ziele nach läuft es auf Schopenhauer'sche Metaphysik hinaus. Die Gestirne sollen sich einander lieben und hassen, Lust und Unlust empfinden und sich so zu bewegen streben, wie es diesen Empfindungen entspricht. Ja in verschwommener Nachahmung des Gesetzes der kleinsten Wirkung wird (S. 326, 327) der Schopenhauer'sche Pessimismus, welcher diese Welt zwar für die beste unter den möglichen Welten, aber für schlechter als gar keine erklärt, zu einem angeblich allgemeingültigen Principe von der kleinsten Summe der Unlust formulirt, und dieses als oberstes Gesetz der Welt, der lebenden wie der leblosen, proclamirt.

Dass nun ein Mann, dessen Geist auf solchen Wegen wandelt, in der Methode des Thomson-Tait'schen Buches das gerade Gegentheil des richtigen Weges, oder dessen, was er selbst dafür hält, erblickt, ist natürlich; dass er den Grund des Widerspruchs in allen möglichen persönlichen Schwächen der Gegner, nicht aber da sucht, wo er wirklich steckt, entspricht ganz der intoleranten Weise, in der Anhänger von metaphysischen Glaubensartikeln ihre Gegner zu behandeln pflegen, um sich und der Welt die Schwäche ihres eigenen Standpunktes zu verhüllen. Herr Zöllner ist überzeugt, „dass es der Mehrzahl unter den

Digitized by Google

heutigen Vertretern der exacten Wissenschaften an einer klar bewussten Kenntniss der ersten Principien der Erkenntnisstheorie gebreche.“ (S. VIII.) Dies sucht er durch Nachweisung angeblicher grober Denkfehler bei mehreren von ihnen zu erhärten.

Dazu müssen zunächst die Herren Thomson und Tait herhalten. Diese haben ihrer Ueberzeugung betreffs des richtigen Gebrauchs der naturwissenschaftlichen Hypothesen in den Paragraphen 381 bis 385 des vorliegenden Buches Ausdruck gegeben. Sie tadeln in Paragraph 385 Hypothesen, die sich zu weit von den beobachtbaren Thatsachen entfernen, und wählen als Beispiele für den nachtheiligen Einfluss derselben natürlich nur solche, welche durch ausgedehnte Verbreitung und die Autorität ihrer Urheber wirklich einflussreich geworden sind. In dieser Beziehung stellen sie das von unserem Landsmanne W. Weber aufgestellte Gesetz der elektrischen Fernwirkung in gleiche Linie mit der von J. Newton physikalisch durchgearbeiteten Emissionstheorie des Lichtes. Diese Nebeneinanderstellung zeigt am besten, dass die englischen Autoren Nichts beabsichtigten, was ein gesund gebliebenes deutsches Nationalgefühl verletzen müsste. Wir sind, denke ich, in Deutschland noch nicht dahin gekommen und werden hoffentlich nie dahin kommen, dass Hypothesen, wenn sie auch von einem noch so hochverdienten Manne aufgestellt worden sind, nicht kritisirt werden dürften. Sollte es aber wirklich jemals dahin kommen, dann würden Herr Zöllner und seine metaphysischen Freunde in der That das Recht haben, über den Untergang der deutschen Naturwissenschaft zu klagen, beziehlich zu triumphiren. Eine Hypothese aufgestellt zu haben, welche bei weiterer Entwickelung der Wissenschaft sich als unzulässig erweist, ist für Niemanden ein Tadel, ebensowenig als es für Jemanden, der in gänzlich unbekannter Gegend sich seinen Weg suchen muss, ein Vorwurf ist, trotz aller Aufmerksamkeit und Ueberlegung, die er verwendet hat, einmal fehlgegangen zu sein. Auch ist weiter klar, dass derjenige, der eine Hypothese, welche die Geister einer grossen Menge von wissenschaftlichen Männern gefangen genommen hat, für falsch hält, demnächst urtheilen muss, dass dieselbe zeitweilig schädlich und hemmend für die Entwickelung der Wissenschaft sei, und er wird berechtigt sein, dies auszusprechen, wenn ihm die Aufgabe zufällt, nach seiner besten Ueberzeugung den Lernenden über den Weg, den er einzuschlagen habe, zu berathen.

Digitized by Google

Unter den Gründen, welche Herr W. Thomson für die Unzulässigkeit der Weber'schen Hypothese anführt, ist auch der, dass sie dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft widerspreche. Dieselbe Behauptung war auch ich genöthigt, etwas später in einer im Jahre 1870 veröffentlichten Arbeit[1]) aufzustellen. Herr Zöllner hat nun auf die Autorität von Herrn C. Neumann hin angenommen, diese Behauptung sei falsch. Ihm erscheint im Gegentheil das Weber'sche Gesetz ebenfalls ein Universalgesetz aller Kräfte der Natur zu sein (wie sich diese verschiedenen Universalgesetze mit einander vertragen, bleibt unerörtert), und er verwendet 20 Seiten seiner Einleitung dazu, um seiner Entrüstung über die intellectuelle und moralische Stumpfheit derjenigen, die es antasten, Luft zu machen. Herr Zöllner wird seitdem wohl begriffen haben, dass es mindestens unvorsichtig ist, nur auf die Autorität eines der Gegner gestützt einem wissenschaftlichen Streite mit Schmähreden gegen die andere Partei assistiren zu wollen, abgesehen davon, dass man auf solche Weise zur Entscheidung des Streites gar Nichts, zur Verbitterung desselben vielleicht sehr viel beiträgt. Herr C. Neumann war selbst Partei in dieser Sache; die Theorie der elektrodynamischen Wirkungen, welche er selbst damals festhielt, wurde von meinen Einwänden mitgetroffen. Er hat seitdem diese Theorie fallen lassen. Er selbst, wie Herr W. Weber, haben des letzteren ursprüngliche Theorie halten zu können geglaubt, wenn sie die Mitwirkung molecularer Kräfte für sehr genäherte elektrische Massen hinzunähmen. Ich habe dann in meiner zweiten Abhandlung zur Theorie der Elektrodynamik[2]) nachgewiesen, dass die Annahme von Molecularkräften den Leck in der Weber'schen Theorie nicht zustopft. Inzwischen hat Herr C. Neumann selbst, noch ehe er von meinem zweiten Aufsatze Kenntniss erhielt, die Begründung der Elektrodynamik auf das Weber'sche Gesetz aufgegeben, und ein neues Gesetz dafür zu construiren gesucht.

Hierbei möchte ich, gegenüber der Betonung der deductiven Methode durch unsere Gegner, an dieses Beispiel noch folgende Bemerkung knüpfen. Nach der bisherigen Ansicht der besseren Naturforscher war die deductive Methode nicht bloss berechtigt, sondern sogar gefordert, wenn es sich darum handelte, die Zulässigkeit einer Hypothese zu prüfen. Jede berechtigte Hypothese

---

[1]) Ueber die Bewegungsgleichungen der Elektricität für ruhende leitende Körper. Borchardt, Journal für Mathematik. Bd. 72.

[2]) Genanntes Journal, Bd. 75.

Digitized by Google

ist der Versuch, ein neues allgemeineres Gesetz aufzustellen, welches mehr Thatsachen unter sich begreift, als bisher beobachtet sind. Die Prüfung derselben besteht nun darin, dass wir alle Folgerungen, welche aus ihr herfliessen, uns zu entwickeln suchen, namentlich diejenigen, welche mit beobachtbaren Thatsachen zu vergleichen sind. Also wäre es meines Erachtens die erste Pflicht derjenigen gewesen, welche die Weber'sche Hypothese vertheidigen wollten, unter Anderem nachzusehen, ob diese Hypothese die allergemeinste Thatsache erklären kann, die nämlich, dass die Elektricität, wenn keine elektromotorischen Kräfte auf sie einwirken, in allen elektrischen Leitern in Ruhe bleibt und also fähig ist, in stabilem Gleichgewichte zu beharren. Wenn die Weber'sche Hypothese das Gegentheil ergiebt, wie ich nachzuweisen gesucht habe, so war zunächst nach einer solchen Modification derselben zu suchen, welche stabiles Gleichgewicht in den grössten wie in den kleinsten Leitern möglich machte. Nach meiner Ansicht wäre dies ein richtiges und durch die deductive Methode gefordertes Verfahren gewesen, nicht aber Halt zu machen, wenn man merkt, dass man auf unbequeme Folgerungen kommt, und sich damit zu entschuldigen, dass die richtigen Differentialgleichungen für die Bewegung der Elektricität aus dem Weber'schen Gesetz eben noch nicht gefunden seien. Und wenn ein Anderer sich dieser Mühe unterzieht, so sollte Jemand, der sich für einen Vertreter der deductiven Methode *κατ' ἐξοχὴν* hält, ihm Beifall spenden, statt ihn der Impietät zu bezichtigen, selbst wenn die Ergebnisse der Untersuchung sich als unbequem für den Icarusflug der Speculation herausstellen sollten.

Da Herr Zöllner sich nicht für einen Mathematiker ausgiebt, im Gegentheil uns auf Seite 426 und 427 seines Buches belehrt, dass zu häufige Anwendung der Mathematik die bewusste Verstandesthätigkeit verkümmern mache und ein bequemes Mittel zur Befriedigung der Eitelkeit sei, ausserdem an vielen Stellen, immer wiederholt, seine Geringschätzung denen ausspricht, die seine Speculationen durch Nachweis von Fehlern im Differentiiren und Integriren zu widerlegen glaubten: so dürfen wir betreffs des Weber'schen Gesetzes nicht zu strenge mit ihm rechten. Freilich sollte billiger Weise Jemand, der die Freiheit für sich in Anspruch nimmt, unsicher in der Mathematik sein zu dürfen, nicht über Dinge absprechen wollen, die nur durch mathematische Untersuchungen entschieden werden können. Seine Kometentheorie, die man doch wohl als ein nach seiner Meinung muster-

Digitized by Google

gültiges Beispiel davon ansehen soll, wie die rechte Methode zu verfahren habe, giebt überdies andere viel populärere Beispiele derselben eigenthümlichen Art von Anwendung oder Nichtanwendung der Deduction, Beispiele, deren Besprechung für eine andere passendere Gelegenheit vorbehalten werden mag.

Es bleibt noch sein Ausfall gegen die Autoren dieses Buches wegen der Emissionstheorie des Lichtes zu besprechen. Sie sagen, eine solche Theorie wäre höchstens dann zu rechtfertigen gewesen, wenn ein Lichtkörperchen wirklich gesehen und untersucht worden wäre. Herr Zöllner findet in dieser Forderung „nicht „etwa nur eine physikalische, sondern sogar eine leicht zu ent„deckende logische Unmöglichkeit. In der That, wenn in uns „erst durch die Berührung der Lichtkörperchen mit unseren „Nerven die Empfindung des Lichtes erzeugt wird, — so ist es „offenbar unmöglich, ein solches Lichtkörperchen, bevor es „unseren Sehnerven berührt oder afficirt hat, überhaupt durch „das Auge wahrzunehmen.“ Darauf folgen dann Declamationen über grobe Denkfehler, absoluten Nonsens u. s. w. Letzterer ist hier wirklich vorhanden; aber er steckt nicht in dem, was die englischen Autoren gesagt, sondern in dem, was ihr Angreifer in ihre Worte hineininterpretirt hat. Muss ich einem Manne, der so viel sicherer in den Elementen der Erkenntnisstheorie zu sein glaubt, als seine Gegner, noch erst auseinandersetzen, dass ein Object sehen, im Sinne der Emanationstheorie, heisst, die Lichtkörperchen in das Auge aufnehmen und empfinden, die von jenem Objecte abgeprallt sind? Nun ist aber nichts von einer logischen Unmöglichkeit oder Widerspruch gegen die Grundlagen der Theorie in der Annahme zu finden, dass ein ruhendes Lichtkörperchen — sie ruhen ja, sobald sie von dunkeln Körpern absorbirt sind — andere gegenstossende zurückwerfe, für die es dadurch Radiationscentrum wird und demnächst als Ausstrahlungspunkt dieser Radiation gesehen werde. Ob und wie ein solcher Vorgang zur Beobachtung zu bringen ist, wäre im Sinne der englischen Autoren natürlich Sache desjenigen, der die Existenz der Lichtkörperchen direct beweisen wollte. Man mag über die Strenge und Zweckmässigkeit dieser Anforderung denken, was man will, ein logischer Widerspruch liegt nicht darin, und gerade auf einen solchen käme es an, um das zu beweisen, was Herr Zöllner beweisen möchte.

Einen weiteren Einwurf von ähnlichem wissenschaftlichen Werthe will ich noch erwähnen, weil er sich auf Sir W. Thomson

Digitized by Google

bezieht, wenn auch nicht auf eine Stelle dieses Buches. Es betrifft die Frage über die Möglichkeit, dass organische Keime in den Meteorsteinen vorkommen und den kühl gewordenen Weltkörpern zugeführt werden. Herr W. Thomson hatte diese Ansicht in seiner Eröffnungsrede der britischen Naturforscherversammlung zu Edinburg im Herbst 1871 als „nicht unwissenschaftlich" bezeichnet. Auch hier muss ich mich, wenn darin ein Irrthum liegt, als Mitirrender melden. Ich hatte dieselbe Ansicht als eine mögliche Erklärungsweise der Uebertragung von Organismen durch die Welträume sogar noch etwas früher als Herr W. Thomson in einem im Frühling desselben Jahres zu Heidelberg und Cöln gehaltenen, aber noch nicht veröffentlichten Vortrage erwähnt[1]). Ich kann nicht dagegen rechten, wenn Jemand diese Hypothese für unwahrscheinlich im höchsten oder allerhöchsten Grade halten will. Aber es erscheint mir ein vollkommen richtiges wissenschaftliches Verfahren zu sein, wenn alle unsere Bemühungen scheitern, Organismen aus lebloser Substanz sich erzeugen zu lassen, dass wir fragen, ob überhaupt das Leben je entstanden, ob es nicht eben so alt, wie die Materie sei, und ob nicht seine Keime von einem Weltkörper zum anderen herübergetragen sich überall entwickelt hätten, wo sie günstigen Boden gefunden.

Herrn Zöllner's angebliche physikalische Gegengründe sind von sehr geringem Gewicht. Er erinnert an die Erhitzung der Meteorsteine und fügt hinzu (S. XXVI): „Wenn daher jener mit „Organismen bedeckte Meteorstein auch beim Zertrümmern seines „Mutterkörpers mit heiler Haut davon gekommen wäre und nicht „an der allgemeinen Temperaturerhöhung Theil genommen hätte, „so musste er doch nothwendig erst die Erdatmosphäre passirt „haben, ehe er sich seiner Organismen zur Bevölkerung der Erde „entledigen konnte."

Nun wissen wir erstens aus häufig wiederholten Beobachtungen, dass die grösseren Meteorsteine bei ihrem Fall durch die Atmosphäre sich nur in ihrer äussersten Schicht erhitzen, im Innern aber kalt oder sogar sehr kalt bleiben. Alle Keime also, die etwa in Spalten derselben steckten, wären vor Verbrennung in der Erdatmosphäre geschützt. Aber auch die oberflächlich gelagerten würden doch wohl, wenn sie in die allerhöchsten und dünnsten Schichten der Erdatmosphäre gerathen, längst durch den gewaltigen Luftzug herabgeblasen sein, ehe der Stein in

[1]) Ueber die Entstehung des Planetensystems. Siehe S. 91 dieses Bandes.

Digitized by Google

dichtere Theile der Gasmasse gelangt, wo die Compression gross genug wird, um merkliche Wärme zu erzeugen. Und was andererseits den Zusammenstoss zweier Weltkörper betrifft, wie ihn Thomson annimmt, so werden die ersten Folgen davon gewaltige mechanische Bewegungen sein, und erst in dem Maasse, als diese durch Reibung vernichtet werden, entsteht Wärme. Wir wissen nicht, ob das Stunden, oder Tage, oder Wochen dauern würde. Die Bruchstücke, welche im ersten Moment mit planetarischer Geschwindigkeit fortgeschleudert sind, können also ohne alle Wärmeentwickelung davon kommen. Ich halte es nicht einmal für unmöglich, dass ein durch hohe Schichten der Atmosphäre eines Weltkörpers fliegender Stein, oder Steinschwarm einen Ballen Luft mit sich hinausschleudert und fortnimmt, der unverbrannte Keime enthält.

Wie gesagt, möchte ich alle diese Möglichkeiten noch nicht für Wahrscheinlichkeiten ausgeben. Es sind nur Fragen, deren Existenz und Tragweite wir im Auge behalten müssen, damit sie vorkommenden Falls durch wirkliche Beobachtungen oder Schlussfolgerungen aus solchen gelöst werden können.

Herr Zöllner versteigt sich dann zu folgenden zwei Sätzen (S. XXVIII und XXIX):

„Dass die Naturforscher heute noch einen so ungemeinen „Werth auf den inductiven Beweis der generatio aequivoca „legen, ist das deutlichste Zeichen, wie wenig sie sich mit den „ersten Principien der Erkenntnisstheorie vertraut gemacht „haben.“

und ferner:

„Ebenso drückt die Hypothese von der generatio aequi- „voca, — — nichts anderes als die Bedingung für die Be- „greiflichkeit der Natur nach dem Causalitätsgesetze aus.“

Hier haben wir den echten Metaphysiker. Einer angeblichen Denknothwendigkeit gegenüber blickt er hochmüthig auf die, welche sich um Erforschung der Thatsachen bemühen, herab. Ist es schon vergessen, wie viel Unheil dieses Verfahren in den früheren Entwickelungsperioden der Naturwissenschaften angerichtet hat? Und was ist die logische Basis dieses erhabenen Standpunktes? Die richtige Alternative ist offenbar:

„Organisches Leben hat entweder zu irgend einer Zeit angefangen zu bestehen, oder es besteht von Ewigkeit.“

Herr Zöllner lässt den zweiten Theil dieser Disjunction einfach weg, oder glaubt ihn durch einige kurz zuvor angeführte

Digitized by Google

flüchtige physikalische Betrachtungen beseitigt zu haben, die durchaus nicht entscheidend sind. Demgemäss ist seine Conclusio, welche die erste Hälfte der oben aufgestellten Disjunction affirmirt, entweder gar nicht bewiesen, oder nur mittelst eines Minor, der auf physikalische Gründe (und zwar ungenügende) gestützt ist. Also ist die Conclusio keineswegs, wie Herr Zöllner glaubt, ein Satz von logischer Nothwendigkeit, sondern höchstens eine unsichere Folgerung aus physikalischen Betrachtungen.

Dies ist, was Herr Zöllner auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Fragen gegen die Autoren dieses Handbuchs einzuwenden hat[1]). Anklagen, von genau demselben Gewichte, gegen andere Naturforscher mit derselben Zuversicht auf die eigene Unfehlbarkeit und mit demselben schnellfertigen Absprechen über die intellectuellen und moralischen Eigenschaften des Gegners erhoben, finden sich in Herrn Zöllner's Buche noch in grosser Anzahl vor. Einen anderen Theil dieser Beispiele zu besprechen, wird sich noch eine andere Gelegenheit finden. Wenn ich eine Nutzanwendung, die uns hier interessirt, vorausnehmen darf, so ist es die, dass die strenge Disciplin der inductiven Methode, das treue Festhalten an den Thatsachen, welches die Naturwissenschaften gross gemacht hat, für den aufmerksamen und urtheilsfähigen Leser durch keine theoretischen Gründe wirksamer und beredter vertheidigt werden kann, als durch das praktische Beispiel, welches das Zöllner'sche Buch für die Consequenzen der entgegengesetzten, angeblich deductiven, speculirenden Methode giebt, um so mehr als Herr Zöllner unzweifelhaft ein talentvoller und kenntnissreicher Mann ist, der einst, ehe er in die Metaphysik verfiel, hoffnungsreiche Arbeiten lieferte, und noch jetzt, wo er auf dem Boden der Wirklichkeit festgehalten wird, z. B. bei der Construction optischer Instrumente und der Ermittelung optischer Methoden, Scharfsinn und Erfindungsgabe zeigt.

Berlin, December 1873.

---

[1]) Auf dem Gebiete der persönlichen Fragen muss ich bezüglich der die Principien der Spektralanalyse betreffenden Prioritätsreclamation, mit welcher Herr W. Thomson für Herrn Stokes gegen Herrn Kirchhoff aufgetreten ist, mich auf die Seite des Letztgenannten stellen in voller Anerkennung der Gründe, die er selbst geltend gemacht hat.

Digitized by Google

Ueber das Streben nach Popularisirung der Wissenschaft.

Vorrede

zu der

Uebersetzung von Herrn Tyndall's „Fragments of Science"

1874.

Wenn auch mein Namen auf dem Titel dieses Bandes übersetzter Tyndall'scher Schriften [1]) nicht mehr als der des Herausgebers erscheint, so habe ich doch dieselbe Hilfe wie bei früheren Bänden zu leisten mich bemüht; das heisst, ich habe die Uebersetzung betreffs der sachlich richtigen Wiedergabe des naturwissenschaftlichen Inhalts durchgesehen und, wo es nothwendig erschien, zu bessern gesucht. Ich habe meine Mitwirkung trotz grosser Ueberhäufung mit anderen amtlichen und wissenschaftlichen Arbeiten nicht zurückziehen mögen, einmal, weil ich die Verbreitung gelungener populärer Darstellungen der wichtigeren und durchgebildeteren Theile der Naturwissenschaft für ein nützliches Werk halte, und dann weil Angriffe gegen Herrn Tyndall erfolgt waren, deren Berechtigung ich vielleicht anzuerkennen geschienen hätte, wenn ich meine Hilfe bei der Herausgabe des gegenwärtigen Bandes versagt hätte. Das wollte ich um so weniger, als vielleicht gerade der Umstand, dass ich selbst an der Verbreitung seiner Bücher in Deutschland mitgewirkt habe, diese Angriffe hervorgerufen, oder wenigstens erheblich verbittert haben mag.

---

[1]) Wissenschaftliche Fragmente. Braunschweig 1874.

Digitized by Google

Was den zuerst angeführten Grund betrifft, so halte ich das auch in Deutschlands gebildeteren Kreisen erwachende und sich immer lebhafter äussernde Verlangen nach naturwissenschaftlicher Belehrung nicht bloss für ein Haschen nach einer neuen Art von Amüsement oder für leere und fruchtlose Neugier, sondern für ein wohlberechtigtes geistiges Bedürfniss, welches mit den wichtigsten Triebfedern der gegenwärtigen geistigen Entwickelungsvorgänge eng zusammenhängt. Nicht dadurch allein, dass sie gewaltige Naturkräfte den Zwecken des Menschen unterworfen und uns eine Fülle neuer Hilfsmittel zu Gebote gestellt haben, sind die Naturwissenschaften von dem allererheblichsten Einfluss auf die Gestaltung des gesellschaftlichen, industriellen und politischen Lebens der civilisirten Nationen geworden; und doch wäre schon diese Art ihrer Wirkungen wichtig genug, dass der Staatsmann, Historiker und Philosoph eben so gut wie der Techniker und Kaufmann wenigstens an den praktisch gewordenen Ergebnissen derselben nicht theilnamlos vorübergehen kann. Viel tiefer gehend noch und weiter tragend, wenn auch viel langsamer sich entfaltend ist eine andere Seite ihrer Wirkungen, nämlich ihr Einfluss auf die Richtung des geistigen Fortschreitens der Menschheit. Es ist schon oft gesagt und auch wohl den Naturwissenschaften als Schuld angerechnet worden, dass durch sie ein Zwiespalt in die Geistesbildung der modernen Menschheit gekommen sei, der früher nicht bestand. In der That ist Wahrheit in dieser Aussage. Ein Zwiespalt macht sich fühlbar; ein solcher wird aber durch jeden grossen neuen Fortschritt der geistigen Entwickelung hervorgerufen werden müssen, sobald das Neue eine Macht geworden ist und es sich darum handelt, seine berechtigten Ansprüche gegen die berechtigten des Alten abzugrenzen.

Der bisherige Bildungsgang der civilisirten Nationen hat seinen Mittelpunkt im Studium der Sprache gehabt. Die Sprache ist das grosse Werkzeug, durch dessen Besitz sich der Mensch von den Thieren am Wesentlichsten unterscheidet, durch dessen Gebrauch es ihm möglich wird, die Erfahrungen und Kenntnisse der gleichzeitig lebenden Individuen, wie die der vergangenen Generationen, jedem Einzelnen zur Verfügung zu stellen, ohne welches ein Jeder, wie das Thier, auf seinen Instinkt und seine eigene einzelne Erfahrung beschränkt bleiben würde. Dass also Ausbildung der Sprache einst die erste und nothwendigste Arbeit der heranwachsenden Volksstämme war, so wie noch jetzt

Digitized by Google

die möglichst verfeinerte Ausbildung ihres Verständnisses und ihres Gebrauchs die Hauptaufgabe der Erziehung jedes einzelnen Individuum ist und immer bleiben wird, versteht sich von selbst. Ganz besonders eng knüpft sich die Cultur der modernen europäischen Nationen geschichtlich an das Studium der classischen Ueberlieferungen, und dadurch unmittelbar an das Sprachstudium an. Mit dem Sprachstudium hing zusammen das Studium der Denkformen, die sich in der Sprache ausprägen. Logik und Grammatik, das heisst nach der ursprünglichen Bedeutung dieser Wörter, die Kunst zu sprechen und die Kunst zu schreiben, beide im höchsten Sinne genommen, waren daher die natürlichen Angelpunkte der bisherigen geistigen Bildung.

Wenn nun auch die Sprache das Mittel ist, die einmal erkannte Wahrheit zu überliefern und zu bewahren, so dürfen wir doch nicht vergessen, dass ihr Studium Nichts davon lehrt, wie neue Wahrheit zu finden sei. Dem entsprechend zeigt die Logik wohl, wie aus dem allgemeinen Satze, der den Major eines Schlusses bildet, Folgerungen zu ziehen seien; wo aber ein solcher Satz herkomme, darüber weiss sie nichts zu berichten. Wer sich von seiner Wahrheit selbständig überzeugen will, der muss umgekehrt mit der Kenntniss der Einzelfälle beginnen, die unter das Gesetz gehören, und die später, wenn dieses festgestellt ist, freilich auch als Folgerungen aus dem Gesetze aufgefasst werden können. Nur wenn die Kenntniss des Gesetzes eine überlieferte ist, geht sie wirklich der der Kenntniss der Folgerungen voraus, und in solchem Falle gewinnen dann die Vorschriften der alten formalen Logik ihre unverkennbare praktische Bedeutung.

Alle diese Studien führen uns also nicht selbst an die eigentliche Quelle des Wissens, stellen uns nicht der Wirklichkeit gegenüber, von der wir zu wissen verlangen. Es liegt sogar eine unverkennbare Gefahr darin, dass dem Einzelnen vorzugsweise solches Wissen überliefert wird, von dessen Ursprung er keine eigene Anschauung hat. Die vergleichende Mythologie und die Kritik der metaphysischen Systeme wissen viel davon zu erzählen, wie bildlicher Wortausdruck später in eigentlicher Bedeutung genommen und als uranfängliche geheimnissvolle Weisheit gepriesen worden ist.

Also bei aller Anerkennung der gar nicht hoch genug zu schätzenden Bedeutung, welche die fein durchgearbeitete Kunst, das erworbene Wissen Anderen zu überliefern, und wiederum von Anderen solche Ueberlieferung zu empfangen, für die geistige

Digitized by Google

Entwickelung des Menschengeschlechts hat und bei aller Anerkennung der Wichtigkeit, welche der Inhalt der classischen Schriften für die Ausbildung des sittlichen und ästhetischen Gefühls, für die Entwickelung einer anschaulichen Kenntniss menschlicher Empfindungen, Vorstellungskreise, Culturzustände hat, müssen wir doch hervorheben, dass ein wichtiges Moment dem ausschliesslich literarisch-logischen Bildungswege abgeht, das ist die methodische Schulung derjenigen Thätigkeit, durch welche wir das ungeordnete, vom wilden Zufall scheinbar mehr als von Vernunft beherrschte Material, was in der wirklichen Welt uns entgegentritt, dem ordnenden Begriffe unterwerfen und dadurch auch zum sprachlichen Ausdrucke fähig machen. Eine solche Kunst der Beobachtung und des Versuchs finden wir bis jetzt wenigstens fast nur in den Naturwissenschaften methodisch entwickelt; vorläufig scheint die Hoffnung, dass auch die Psychologie der Individuen und der Völker, nebst den auf sie zu basirenden praktischen Wissenschaften der Erziehung, der gesellschaftlichen und staatlichen Ordnung zum gleichen Ziele gelangen werde, sich nur auf eine ferne Zukunft richten zu dürfen.

Diese neue Aufgabe, von der naturwissenschaftlichen Forschung auf neuen Wegen verfolgt, hat schnell genug neue, in ihrer Art unerhörte Erfolge als Beweise dafür gegeben, welcher Leistungen das menschliche Denken fähig ist, wo dasselbe den ganzen Weg von den Thatsachen bis zur vollendeten Kenntniss des Gesetzes unter günstigen Bedingungen seiner selbst bewusst, und selbst alles prüfend zurücklegen kann. Die einfacheren Verhältnisse namentlich der unorganischen Natur erlauben eine so eindringende und genaue Kenntniss ihrer Gesetze zu erlangen, eine so weit reichende Deduction der aus diesen fliessenden Folgerungen auszuführen, und diese wiederum durch so genaue Vergleichung mit der Wirklichkeit zu prüfen und zu bewahrheiten, dass mit der systematischen Entfaltung solcher Begriffsbildungen (zum Beispiel mit der Herleitung der astronomischen Erscheinungen aus dem Gesetze der Gravitation) kaum ein anderes menschliches Gedankengebäude in Bezug auf Folgerichtigkeit, Sicherheit, Genauigkeit und Fruchtbarkeit zugleich möchte verglichen werden können.

Ich erinnere an diese Verhältnisse hier nur, um hervorzuheben, in welchem Sinne die Naturwissenschaften ein neues und wesentliches Element der menschlichen Bildung von unzerstörbarer Bedeutung auch für alle weitere Entwickelung derselben

Digitized by Google

in der Zukunft sind, und dass eine volle Bildung des einzelnen Menschen, wie der Nationen nicht mehr ohne eine Vereinigung der bisherigen literarisch-logischen und der neuen naturwissenschaftlichen Richtung möglich sein wird.

Nun ist die Mehrzahl der Gebildeten bisher nur auf dem alten Wege unterrichtet worden und ist fast gar nicht in Berührung mit der naturwissenschaftlichen Gedankenarbeit gekommen, höchstens ein wenig mit der Mathematik. Männer von diesem Bildungsgange sind es vorzugsweise, die unsere Staaten lenken, unsere Kinder erziehen, Ehrfurcht vor der sittlichen Ordnung aufrecht halten, und die Schätze des Wissens und der Weisheit unserer Vorfahren aufbewahren. Dieselben sind es nun auch, welche die Aenderungen im Gange der Bildung der neu aufwachsenden Generationen organisiren müssen, wo solche Aenderungen nöthig sind. Sie müssen dazu ermuthigt oder gedrängt werden durch die öffentliche Meinung der urtheilsfähigen Classen des ganzen Volkes, der Männer, wie der Frauen.

Abgesehen also vom natürlichen Drange jedes warmherzigen Menschen zu dem, was er als wahr und richtig erkannt hat, auch andere hinzuleiten, wird für jeden Freund der Naturwissenschaften ein mächtiges Motiv, sich an solcher Arbeit zu betheiligen, in der Ueberlegung liegen, dass die Weiterentwickelung dieser Wissenschaften selbst, die Entfaltung ihres Einflusses auf die menschliche Bildung, und, insofern sie ein nothwendiges Element dieser Bildung sind, sogar die Gesundheit der weiteren geistigen Entwickelung des Volkes davon abhängt, dass den gebildeten Classen Einsicht in die Art und die Erfolge der naturwissenschaftlichen Forschung so weit gegeben wird, als es ohne eigene eingehende Beschäftigung mit diesen Fächern überhaupt möglich ist.

Dass übrigens das Bedürfniss nach einer solchen Einsicht auch von denen gefühlt wird, welche unter überwiegend sprachlichem und literarischem Unterricht aufgewachsen sind, zeigt die grosse Menge populärer naturwissenschaftlicher Bücher, welche alljährlich erscheinen, und der Eifer, mit dem allgemein verständliche Vorlesungen naturwissenschaftlichen Inhalts besucht werden.

Es liegt aber in der Natur der Sache, dass der wesentliche Theil dieses Bedürfnisses, der tiefen Lage seiner Wurzeln entsprechend, nicht leicht zu befriedigen ist. Zwar, was die Wissenschaft als feststehendes Resultat einmal abgesetzt und fertig

Digitized by Google

durchgearbeitet hat, das kann auch von verständigen Compilatoren zusammengestellt und in die passende Form gebracht werden, so dass es ohne weitere Vorkenntnisse des Lesers bei einiger Ausdauer und Geduld von diesem verstanden werden mag. Aber eine solche auf die thatsächlichen Ergebnisse beschränkte Kenntniss ist nicht eigentlich das, um was es sich handelt. Ja solche Bücher lenken bei bester Absicht leicht in falsche Bahnen. Sollen sie nicht ermüden, so müssen sie die Aufmerksamkeit des Lesers meist durch Anhäufung von Curiositäten festzuhalten suchen, wodurch das Bild von der Wissenschaft ein ganz falsches wird; man fühlt das oft heraus, wenn man die Leser von dem erzählen hört, was ihnen wichtig erschien. Dabei tritt noch die Schwierigkeit hinzu, dass das Buch nur Wortbeschreibungen, höchstens mehr oder weniger unvollkommene Abbildungen von den Dingen und Vorgängen, die es behandelt, geben kann, und dass die Einbildungskraft des Lesers dadurch fortdauernd einer viel stärkeren Anstrengung bei viel ungenügenderen Resultaten unterworfen wird, als die des Forschers oder Schülers, der in Sammlungen und Laboratorien die lebendige Wirklichkeit der Dinge vor sich sieht. Ein Theil der letztgenannten Schwierigkeiten ist in populären Vorlesungen wohl zu beseitigen, wenn wenigstens einige Objecte oder Versuche gezeigt werden können (wozu in Deutschland freilich die Gelegenheit bis jetzt meist sehr beschränkt ist).

Mir scheint aber, dass nicht sowohl Kenntnisse der Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschungen an sich dasjenige ist, was die verständigsten und gebildetsten unter den Laien suchen, als vielmehr eine Anschauung von der geistigen Thätigkeit des Naturforschers, von der Eigenthümlichkeit seines wissenschaftlichen Verfahrens, von den Zielen, denen er zustrebt, von den neuen Aussichten, welche seine Arbeit für die grossen Räthselfragen der menschlichen Existenz bietet. Von diesem allem ist in den eigentlich wissenschaftlichen Abhandlungen unseres Gebietes kaum je die Rede; im Gegentheil, die strenge Disciplin der exacten Methode bringt es mit sich, dass in den mustergiltigen Arbeiten nur immer von sicher Ermitteltem gesprochen wird, oder höchstens von Hypothesen, gleichsam Fragestellungen an die weitere Forschung, für welche eine sichere Antwort zu finden durch die nächsten Schritte der Untersuchung möglich erscheint. Eine natürliche Vorsicht gebietet in dieser Beziehung grosse Strenge. Denn ob ein Mann der Wissenschaft sagt: „Ich

Digitized by Google

weiss“ oder „Ich vermuthe“, dass etwas so sei, gilt dem grösseren Theile selbst der unterrichteteren Leser ziemlich gleich; sie fragen nur nach dem Resultat und der Autorität, von der es gestützt wird, nicht nach der Begründung oder den Zweifeln. Es ist also nicht zu verwundern, wenn die ernsten Forscher sich das Vertrauen ihrer Leser auf das, was sie als wahr versichern zu können meinen, nicht gern selbst erschüttern, indem sie Vermuthungen von zweifelhafter Richtigkeit vortragen. Diese mögen noch so wahrscheinlich sein, und mögen mit noch so grosser Vorsicht und noch so sorgfältiger Verwahrung ausgesprochen werden, sie setzen ihren Urheber immer der Gefahr ärgerlicher Missdeutungen aus, denen auszuweichen leichter ist als Stand zu halten.

Auch ist nicht zu verkennen, dass die besondere Disciplin des wissenschaftlichen Denkens, welche zur möglichst abstracten und scharfen Fassung der neugefundenen Begriffe und Gesetze, zur Läuterung von allen Zufälligkeiten der sinnlichen Erscheinungsweise nöthig ist, so wie das damit verbundene Verweilen und Einleben in einen dem allgemeinen Interesse fernliegenden Gedankenkreis nicht gerade günstige Vorbereitungen für eine allgemein fassliche Darlegung der gewonnenen Einsichten vor Zuhörern sind, die einer ähnlichen Disciplin nicht unterlegen haben. Für diese Aufgabe ist vielmehr ein gewisses künstlerisches Talent der Darstellung, eine gewisse Art von Beredsamkeit nothwendig. Der Vortragende oder Schreibende muss allgemein zugängliche Anschauungen finden, mittelst deren er neue Vorstellungen in möglichst sinnlicher Lebendigkeit hervorzurufen und an diesen dann auch die abstracten Sätze, die er verständlich machen will, concretes Leben gewinnen zu lassen weiss. Es ist dies eine fast entgegengesetzte Behandlungsweise des Stoffs, als in den wissenschaftlichen Abhandlungen, und es ist leicht erklärlich, dass sich selten Männer finden, die zu beiderlei Art geistiger Arbeit gleich geschickt sind.

Durch alle diese Verhältnisse wird eine Art von Schranke aufgerichtet zwischen den Männern der Wissenschaft und den Laien, welche von ihnen Belehrung und Führung gewinnen möchten. Dass viele, und zwar zum Theil gerade die tüchtigsten, unter den Forschern die genannten Eigenschaften und Eigenthümlichkeiten des gelehrten Arbeitens haben, ist natürlich und wird in jedem einzelnen Falle gern und leicht entschuldigt werden. Verwahrung einlegen muss ich hier nur gegen die Verkehrung dieses

Digitized by Google

Verhältnisses, als wenn die genannten Mängel nothwendig wären oder gar einen Vorzug ausmachten.

Die Compilatoren können in solchen Richtungen nicht helfen, wo die originalen Denker versäumt oder gescheut haben sich auszusprechen. Um so mehr ist es, wie ich meine, bei dieser Sachlage ein Glück, wenn sich unter denen, welche die volle Befähigung zu selbständiger wissenschaftlicher Arbeit erwiesen haben, auch einmal ein Mann wie Tyndall findet, voll Enthusiasmus für die Aufgabe, die neu errungenen Einsichten und Anschauungen seiner Wissenschaft auf breite Kreise des Volkes wirken zu machen, und dabei ausgerüstet mit den anderen Eigenschaften, welche die Thätigkeit für jenen Zweck erfordert, mit Beredsamkeit und der Gabe anschaulicher Darstellung.

In England besteht die Sitte der populären naturwissenschaftlichen Vorlesungen seit viel längerer Zeit als in Deutschland. Bei der von der unserigen ganz abweichenden Einrichtung der englischen Universitäten sind dort viel Wenigere im Stande, wissenschaftliche Arbeiten und wissenschaftlichen Unterricht für regelrecht vorbereitete Schüler als einzigen Lebensberuf zu betreiben. Das macht meistens für den Einzelnen die Vertiefung in einen besonderen Studienkreis viel schwieriger; das Genie freilich bricht überall durch dieses und andere Hindernisse. Dasselbe Verhältniss hat aber auch andererseits eine engere Berührung der Arbeiter für die Wissenschaft mit allen anderen Kreisen ihres Volkes unterhalten, und dazu getrieben, für die Möglichkeit des Unterrichts der nicht regelrecht vorgebildeten Schüler ausgiebiger zu sorgen. Während dies in Deutschland bisher nur ganz vereinzelt geschah, sind für den gleichen Zweck in England längst feste, gut ausgestattete Institute gegründet worden. Unter diesen steht in erster Linie die Royal Institution in London. „Königlich“ heisst sie nur, weil König Georg III. das Patronat derselben übernahm, übrigens ist sie durch Privatmittel gegründet und wird durch solche unterhalten. Dieses Institut hat ein eigenes Gebäude, mit einer grossen naturwissenschaftlichen Bibliothek, Hörsaal, Sammlung physikalischer und chemischer Instrumente, Laboratorium u. s. w. Ein Professor der Physik und einer der Chemie (zur Zeit die Herren Tyndall und Frankland) sind regelmässig dort angestellt. Die Vorlesungen sind theils einzelne, welche (Freitags Abends) nur vor Mitgliedern der Gesellschaft oder eingeführten Gästen gehalten werden, und meist die Mittheilung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse zum Zwecke haben,

Digitized by Google

theils werden Curse von 6 bis 12 Vorträgen über einzelne Capitel der Wissenschaft, hauptsächlich, doch nicht ausschliesslich, der Naturwissenschaft gehalten. Zu letzteren hat Jeder Zutritt, der das Eintrittsgeld erlegt. Die Vortragenden sind theils die Professoren der Anstalt, die verpflichtet sind, jährlich einen solchen Cursus zu halten, theils englische oder auch auswärtige Gelehrte, welche dazu eingeladen werden. Namentlich in den beiden Umständen, dass dort Curse von einer mässigen Anzahl zusammenhängender Vorlesungen gehalten werden können, und dass dies in einem zu Demonstrationen und Versuchen jeder Art wohl eingerichteten Locale geschieht, liegt ein ausserordentlich grosser Vorzug vor der in Deutschland überwiegenden Gewohnheit, dass jeder Vortragende nur eine Vorlesung hält.

Nun ist begreiflich, dass während der 70 Jahre, wo dies besteht, und unter so viel günstigeren äusseren Bedingungen sich das Publicum seine Vortragenden und die Vortragenden ihr Publicum viel besser ausgebildet haben, als dies bisher in Deutschland der Fall sein konnte. Die Royal Institution hat unter ihren Professoren zwei Namen ersten Ranges gehabt, Humphrey Davy und Faraday, welche hieran mitgearbeitet haben. Gegenwärtig wird Herr Tyndall in England, wie in den Vereinigten Staaten, wegen seines besonderen Talents zur populären Darstellung wissenschaftlicher Themata besonders hoch geschätzt. Jemand, der in sich die Begabung und die Kraft fühlt, in einer bestimmten Richtung an der geistigen Entwickelung der Menschheit mitzuarbeiten, pflegt auch Freude an einer solchen Thätigkeit und an ihrem Erfolge zu haben und ist bereit, ihr einen guten Theil seiner Zeit und seiner Arbeitskraft zu widmen. Das ist bei Herrn Tyndall entschieden der Fall; deshalb ist er seiner Stelle an der Royal Institution treu geblieben, obgleich ihm andere ehrenvolle Stellen angeboten wurden. Aber es wäre eine ganz falsche Vorstellung von ihm, wollte man ihn nur als geschickten populären Redner betrachten, denn der grössere Theil seiner Thätigkeit ist immer der wissenschaftlichen Forschung gewidmet geblieben, und wir verdanken ihm eine Reihe, zum Theil höchst origineller und bedeutsamer physikalischer und physikalisch-chemischer Untersuchungen und Entdeckungen.

Dies sind im Wesentlichen die Gründe, welche mich urtheilen liessen, dass die Verbreitung der Tyndall'schen populären Schriften in Deutschland zur Befriedigung eines wirklichen und nicht ganz leicht zu befriedigenden geistigen Bedürfnisses der

Digitized by Google

gegenwärtigen Entwickelungsepoche beitragen würde. Der Erfolg, namentlich des Buches über die Wärme, scheint mir diese Erwartungen, welche Herr Wiedemann und ich bei der Herausgabe hegten, durchaus bestätigt zu haben. Von Männern sehr verschiedener Lebensberufe habe ich unaufgefordert den Nutzen rühmen hören, den ihnen das Buch gebracht habe.

Der vorliegende neue Band enthält mannigfaltigere Vorlesungen bei verschiedenen Veranlassungen entstanden, theils eigene neue Entdeckungen des Verfassers darstellend, theils seine Ideen über Methode der naturwissenschaftlichen Forschungen auseinandersetzend oder an Beispielen erläuternd, theils die Beziehungen des naturwissenschaftlichen Wissens zu anderen Gebieten menschlicher Geistesthätigkeit besprechend. Für die Eigenart des Verfassers ist der Aufsatz über wissenschaftlichen Gebrauch der Einbildungskraft besonders bezeichnend. Es giebt zwei Wege, den gesetzlichen Zusammenhang der Natur aufzusuchen, den der abstracten Begriffe und den einer reichen experimentirenden Erfahrung. Der erstere Weg führt schliesslich mittelst der mathematischen Analyse zur genauen quantitativen Kenntniss der Phänomene; aber er lässt sich nur beschreiten, wo der zweite schon das Gebiet einigermaassen aufgeschlossen, d. h. eine inductive Kenntniss der Gesetze mindestens für einige Gruppen der dahin gehörigen Erscheinungen gegeben hat, und es sich nur noch um Prüfung und Reinigung der schon gefundenen Gesetze, um den Uebergang von ihnen zu den letzten und allgemeinsten Gesetzen des betreffenden Gebietes und um die vollständige Entfaltung von deren Consequenzen handelt. Der andere Weg führt zu einer reichen Kenntniss des Verhaltens der Naturkörper und Naturkräfte, bei welcher zunächst das Gesetzliche nur in der Form, wie es die Künstler auffassen, in sinnlich lebendiger Anschauung des Typus seiner Wirksamkeit erkannt wird, um sich dann später in die reine Form des Begriffs herauszuarbeiten. Ganz von einander lösen lassen sich beide Seiten der Thätigkeit des Physikers niemals, wenn auch die Verschiedenheit der individuellen Begabung den Einen geschickter zur mathematischen Deduction, den Andern zur inductiven Thätigkeit des Experimentirens macht. Löst sich aber der Erstere ganz von der sinnlichen Anschauung ab, so geräth er in Gefahr, mit grosser Mühe Luftschlösser auf unhaltbare Fundamente zu bauen, und die Stellen nicht zu finden, an denen er die Uebereinstimmung seiner Deductionen mit der Wirklichkeit bewahrheiten kann; dagegen

Digitized by Google

würde der Letztere das eigentliche Ziel der Wissenschaft aus den Augen verlieren, wenn er nicht darauf hinarbeitete, seine Anschauungen schliesslich in die präcise Form des Begriffs überzuführen.

Die erste Entdeckung bisher unbekannter Naturgesetze, das ist also neuer Gleichförmigkeiten in dem Ablaufe anscheinend unzusammenhängender Vorgänge, ist eine Sache des Witzes (dies Wort in seiner weitesten Bedeutung genommen) und wird fast immer nur durch die Vergleichung reicher sinnlicher Anschauungen gelingen; die Vervollständigung und Reinigung des Gefundenen fällt nachher der deductiven Arbeit der begrifflichen und zwar vorzugsweise mathematischen Analyse anheim, da es sich schliesslich immer um Gleichheit von Quantis handelt.

Herr Tyndall ist nun überwiegend Experimentator; er bildet sich seine Verallgemeinerungen auf dem Wege der auf reiche Erfahrung gestützten Anschauung des Spiels der Naturkräfte, und überträgt, was er gesehen, hier auf die grössten, dort auf die kleinsten Raumverhältnisse, wie er dies in der vorhergenannten Vorlesung beschreibt. Es ist eine falsche Unterstellung, wenn man das, was er mit Einbildungskraft (Imagination) bezeichnet, als Phantasterei auslegen will. Es ist ganz das Gegentheil gemeint, reiche erfahrungsmässige Anschauung. In dieser Art zu arbeiten liegt auch offenbar der Grund für die Anschaulichkeit seiner Vorträge über physikalische Vorgänge, so wie für seine Erfolge als populärer Redner.

Uns Deutschen steht Herr Tyndall überdies näher, als viele andere seiner Landsleute dadurch, dass er einen Theil seiner Studien in Deutschland (hauptsächlich in Marburg) vollendet hat. Seine Liebe für die deutsche Literatur und Wissenschaft bekundet sich immer wieder in seinen Büchern. Seine Dankbarkeit hat er auch dadurch bethätigt, dass er manche Lanze gebrochen hat, um den Leistungen continentaler Forscher, Robert Mayer's, Kirchhoff's die gebührende Anerkennung in seinem Vaterlande zu verschaffen. Er kämpft im Augenblick wieder für die Gletscheruntersuchungen der Schweizer Rendu, Agassiz, Desor. Dieselbe Dankbarkeit documentirt sich in der Stiftung, die er am Schlusse seiner in Amerika mit dem ungeheuersten Beifalle gehaltenen Vorlesungscurse aus dem Ueberschuss seiner Einnahmen gemacht hat. Er bestimmt diesen dazu, dass davon „zwei amerikanische Studirende, welche entschiedenes Talent für Physik zeigen, und ihren Entschluss erklären, der Arbeit für diese

Digitized by Google

Wissenschaft ihr Leben zu widmen, unterhalten oder unterstützt werden an solchen europäischen Universitäten, welche nach Ansicht der Verwalter der Stiftung am geeignetsten für diesen Zweck erscheinen".

„Mein Wunsch würde sein, dass jeder dieser Studirenden vier Jahre an einer deutschen Universität zubrächte, von denen drei für seinen Unterricht, eines auf selbständige Untersuchungen verwendet würde [1]."

Um so mehr finde ich es zu bedauern, dass gerade Herr Tyndall in Deutschland von einem Angriffe getroffen worden ist, der gleichsam im Namen des deutschen Nationalgefühls gegen das Eindringen fremdländischer wissenschaftlicher Richtungen vollführt wird, der dabei einen Ton so leidenschaftlicher Bitterkeit an sich trägt und vom Wissenschaftlichen sich so tief in das Persönliche verirrt, wie es in der naturwissenschaftlichen Literatur bisher glücklicher Weise kaum vorgekommen war. Dieser Angriff ist in Herrn J. C. F. Zöllner's Buch über die Natur der Kometen enthalten. Seine Quelle, so weit diese aus wissenschaftlichen Differenzen sich herleitet, ist eine philosophische, der Gegensatz gegen die inductive Methode der Naturwissenschaften, die von Baco zuerst methodisch formulirt und von seinen Landsleuten am frühesten und consequentesten befolgt worden ist. Uebrigens ist dies ein alter Streitpunkt, aus dem schon manche Bäche bitterer Polemik geflossen sind.

Herrn Zöllner's Polemik wendet sich nicht nur gegen Tyndall, sondern gegen die Ausländer überhaupt, und namentlich gegen die Engländer. Ich habe schon Gelegenheit gehabt, in der Vorrede zu dem kürzlich erschienenen zweiten Theil der Uebersetzung von W. Thomson's und P. G. Tait's Treatise on Natural Philosophy (Handbuch der theoretischen Physik) die Art des wissenschaftlichen Gegensatzes und der angewendeten Polemik zu besprechen.

Herr Zöllner möchte die „deductive" Methode, welche er selbst in seinen astrophysischen Speculationen befolgt oder wenigstens zu befolgen beabsichtigt, als die urgermanische empfehlen, und Deutschlands geistigen Horizont durch eine chinesische Mauer gegen die inductive Methode des Auslandes abschliessen. Er sagt viel böse Dinge über das wissenschaftliche Treiben Englands. Er scheut sich nicht in dieser gegenwärtigen Zeit, wo Faraday

[1] The Popular Science Monthly 1873.

Digitized by Google

erst wenige Jahre todt, und die ganze geistige Atmosphäre Europas von Darwin's Ideen durchdrungen und aufgeregt ist, die englische Wissenschaft für altersschwach und absterbend, für vergiftet und vergiftend zu erklären.

Allerdings habe ich keine Besorgniss, dass ein Aufruf, in dieser Richtung an das deutsche Nationalgefühl gerichtet, irgend welchen Erfolg haben werde, während das grosse Blatt der Geschichte, welches das Jahr 1870 aufgeschlagen hat, das gerade Gegentheil mit feurigen Zungen predigt. Aber ich kann nicht verkennen, dass auch abgesehen von den einzelnen Auswüchsen der Polemik des genannten Kritikers, die wissenschaftliche Richtung seines Angriffs eine gewisse verführende Kraft gerade für die Leserkreise haben könnte, auf deren Interesse die Tyndall'schen Bücher zählen müssen.

Die Naturwissenschaften haben genau in dem Maasse reichere und schnellere Fortschritte gemacht als sie sich dem Einflusse der angeblichen Deductionen a priori entzogen haben. In unserem Vaterlande ist dies am spätesten, dann aber auch am entschiedensten geschehen, und namentlich die deutsche Physiologie kann Zeugniss für die Tragweite und Bedeutung dieser Entscheidung geben. Es ist dies aber geschehen im Kampf gegen die letzten grossen Systeme metaphysischer Speculation, die die Erwartungen und das Interesse des gebildeten Theils der Nation auf das Höchste gespannt und gefesselt hatten, im Kampfe gegen die Auffassung, als ob nur das reine Denken die einer hohen Sinnesweise entsprechende Arbeit sei, das Sammeln der Erfahrungsthatsachen dagegen niedrig und gemein.

Indem ich den Namen der Metaphysik hier auf diejenige vermeintliche Wissenschaft beschränke, deren Zweck es ist, durch reines Denken Aufschlüsse über die letzten Principien des Zusammenhanges der Welt zu gewinnen, möchte ich mich nur dagegen verwahren, dass das, was ich gegen die Metaphysik sage, auf die Philosophie überhaupt bezogen werde. Mir scheint, dass nichts der Philosophie so verhängnissvoll geworden ist, als ihre immer wiederholte Verwechselung mit der Metaphysik. Letztere hat der ersteren gegenüber etwa dieselbe Rolle gespielt, wie die Astrologie neben der Astronomie. Die Metaphysik war es, welche hauptsächlich die Augen des grossen Haufens der wissenschaftlichen Dilettanten auf die Philosophie hingerichtet und ihr Schaaren von Schülern und Anhängern zugeführt hat, freilich vielfach solche, die ihr mehr schadeten, als die erbittertsten

Digitized by Google

Gegner hätten thun können. Es war die täuschende Hoffnung, auf einem verhältnissmässig schnellen und mühelosen Wege Einsicht in den tiefsten Zusammenhang der Dinge und das Wesen des menschlichen Geistes, in die Vergangenheit und Zukunft der Welt erlangen zu können, worin das aufregende Interesse beruhte, das so Viele dem Studium der Philosophie zuführte, ebenso wie die Hoffnung, Vorhersagungen für die Zukunft zu gewinnen, ehemals der Astronomie Ansehen und Unterstützung verschaffte. Was die Philosophie uns bisher lehren kann, oder bei fortgesetztem Studium der einschlagenden Thatsachen uns einst wird lehren können, ist zwar vom höchsten Interesse für den wissenschaftlichen Denker, der das Instrument, mit dem er arbeitet, nämlich das menschliche Erkenntnissvermögen, nach seiner Leistungsfähigkeit genau kennen lernen muss; von eben so grossem Interesse für den Geistlichen, den Staatsmann, den Gesetzgeber, den Künstler, welche die ideellen Bedürfnisse des menschlichen Geistes praktisch zu befriedigen bemüht sind. Aber zur Befriedigung dilettantischer Wissbegier oder, was noch mehr in Betracht kommt, menschlicher Eigenliebe werden diese strengen und abstracten Studien wohl auch in Zukunft nur geringe und schwer zu hebende Ausbeute liefern, gerade so, wie die mathematische Mechanik des Planetensystems und die Störungsrechnungen trotz ihrer bewunderungswürdigen systematischen Vollendung viel weniger populär sind, als es die astrologische Afterweisheit alter Zeit gewesen ist.

Dass das Interesse an den berechtigten Aufgaben der Philosophie in der Menschheit nie dauernd auslöschen kann, ist selbstverständlich, wenn sie sich auch vielleicht für halbe Jahrhunderte von solchen Studien misstrauisch abwenden mag, nachdem man ihren Wissenshunger mit Opium statt mit Brot zu stillen versucht hat. Und wenn dann das natürliche Bedürfniss sich wieder geltend macht, wie es gegenwärtig bei uns zu geschehen scheint, so thun diejenigen der Wissenschaft offenbar den allerschlechtesten Dienst, welche den alten Taumel mit neuen Dosen Opium wieder zu erregen bereit stehen. Deren sind leider hinreichend Viele auch jetzt da, wenn sie auch in gutem Glauben, dass sie Brot reichen, handeln mögen, und ich kann nicht umhin, Herrn Zöllner in die Zahl derselben zu rechnen.

Zwar hat die neuere Metaphysik die kühnen und durch ihre Kühnheit imponirenden Pläne, das System alles Wissenswerthen aus dem reinen Denken zu entwickeln, aufgegeben. Man ist be-

Digitized by Google

reit, grosse Massen von Material aus den Erfahrungswissenschaften aufzunehmen und Hypothesen zu machen, deren Natur als solche anerkannt wird. Dagegen soll freilich eine gewisse Reihe von a priorischen Sätzen stehen bleiben, zu denen Herr Zöllner zum Beispiel das Gesetz der Gravitation und das Bestehen der Generatio aequivoca rechnet.

Vielleicht mag mancher der Leser, welcher den Naturwissenschaften fremd gegenüber steht und in seinem Herzen einen Rest von Hoffnung auf die einstige Erfüllung der kühnen Ideale eines grossen speculativen Systems bewahrt hat, deshalb geneigt sein, Herrn Zöllner's Darstellungen der Principien naturwissenschaftlicher Methode und der Geschichte naturwissenschaftlicher Entdeckungen Glauben zu schenken.

Das würde die Hoffnung auf eine endliche Versöhnung des Zwiespalts in unserer jetzigen Bildung nur hinausrücken. Auf das Einzelne einzugehen fehlt hier der Platz; ich muss mich hier auf die Bitte beschränken, jenen Darstellungen nicht ohne Kritik vertrauen zu wollen, und hoffe, dass Männer, welche an wissenschaftliche Strenge gewöhnt sind, auch wo sie mit dem sachlichen Inhalt nicht vertraut sind, zu unterscheiden wissen werden, wo solche Strenge vorhanden ist, und wo sie mangelt.

Ich wollte, wie anfangs gesagt, auch nicht den Schein auf mich laden, dass ich die gegen Herrn Tyndall gerichteten Angriffe billigte, weil ich sie für ungerecht halte. Herr Zöllner hat das Recht, eine Begründung dieser Behauptung von mir zu verlangen, mit der ich die Leser dieser Vorrede, die von dem Buche über die Natur der Kometen vielleicht nichts wissen, hier nicht behelligen will, und die ich deshalb in eine kritische Beilage an den Schluss des Bandes verwiesen habe. Dorthin bitte ich auch solche Leser Tyndall'scher Schriften sich zu wenden, welche das Zöllner'sche Buch gesehen haben, und ohne selbst eingehende physikalische Studien machen zu können, sich doch ein einigermaassen begründetes Urtheil über das Vertrauen, was sie beiden Schriftstellern schenken dürfen, zu bilden wünschen.

Digitized by Google

Kritische Beilage

zu der vorausgehenden Vorrede.

Zöllner contra Tyndall.

Da Herr Tyndall für uns nur als wissenschaftlicher Schriftsteller in Betracht kommt, so ist die Hauptfrage die, ob sein Kritiker irgend welche erhebliche Irrthümer oder Leichtfertigkeiten in den von ihm hingestellten wissenschaftlichen Sätzen nachzuweisen im Stande ist. Aber trotzdem ein ganzer Abschnitt des Buches mit 70 Seiten Text und weitläuftigen psychologischen Erörterungen seiner Verurtheilung gewidmet ist, und ausserdem noch viele entsprechende Behauptungen, die durch das ganze Buch zerstreut sind, habe ich von Einwänden gegen die wissenschaftlichen Sätze des englischen Autors nichts weiter gefunden, als was gegen eine von ihm vorgeschlagene neue Hypothese über die Natur der Kometenschweife gesagt ist, die einen Anhang zum letzten Capitel des Buches über die Wärme (dritte Auflage) bildet. Herr Tyndall hatte interessante neue Thatsachen entdeckt, die in dem genannten Capitel beschrieben sind. Sonnenstrahlen, welche durch gewisse sehr verdünnte Dämpfe kohlenstoffhaltiger Substanzen gehen, zersetzen diese, so dass feinste flüssige Theilchen sich ausscheiden, und einen höchst durchsichtigen Nebel bilden, der beleuchtet von Sonnenlicht ein ähnliches Ansehen und ähnliche Erscheinungen der Polarisation des Lichts zeigt, wie sie an den Schweifen der Kometen beobachtet sind. Herr Tyndall nennt diese durch chemisch wirkende (actinische) Strahlen ausgeschiedenen Nebel actinische Wolken, und stellte sich die Frage, ob nicht die Kometenschweife, deren Erscheinungen in vieler Beziehung noch räthselhaft sind, actinische Wolken sein könnten.

Digitized by Google

Da er selbst nicht Astronom ist, so benutzte er die Gelegenheit eines Vortrags in der Philosophical Society in Cambridge, zu der einige der bedeutenderen englischen Astronomen gehören, seine Gedanken darüber vorzutragen und fand gute Aufnahme oder wenigstens keinen entschiedenen Widerspruch. Dies veranlasste ihn, einen kurzen Abriss jenes Vortrags auch als Anhang zu dem betreffenden Capitel der Wärmelehre abdrucken zu lassen. Uebrigens trägt er diese seine Ansicht durchaus nur als eine mögliche Anwendung der gefundenen Thatsachen vor, als eine Hypothese, von der er glaube, „dass sie einen Keim von Wahrheit enthalte“.

Da sich Herr Tyndall hierbei nirgends für einen Kenner der astronomischen Verhältnisse ausgiebt, im Gegentheil berichtet, dass er Rath von Astronomen zu gewinnen gesucht habe, so muss ich gestehen, könnte ich sein Verfahren nicht tadelnswerth finden, selbst wenn sich herausstellen sollte, dass seine Hypothese sich mit manchen an älteren und neueren Kometen gemachten astronomischen Erfahrungen nicht vereinigen lasse. Jemand, der sich mit diesem Gegenstande eingehend beschäftigt, die astronomische Literatur durchstudirt, oder selbst Kometen beobachtet hat, möchte vielleicht augenblicklich im Stande gewesen sein zu erklären, dass und warum Tyndall's Erklärung den am Himmel beobachteten Thatsachen gegenüber nicht ausreiche, ohne dass man dem Physiker, der nur als solcher eine ihm plausibel erscheinende, auf neu entdeckte Thatsachen gestützte Hypothese vorträgt, daraus billiger Weise einen schweren Vorwurf machen dürfte. Nur in dem Falle würde er einen solchen verdienen, wenn er Widersprüche und nachweisbar unrichtige Sätze in dem physikalischen Theile seiner Theorie vorgetragen hätte. Dies hat Herr Zöllner allerdings in diesem Falle nachzuweisen gesucht; ich muss aber behaupten, dass ihm dieser Nachweis misslungen ist.

Die Tyndall'sche Hypothese ist, dass der Schweif der Kometen nicht, wie es Olbers und Bessel angenommen hatten, aus Theilchen bestehe, die von dem Kometen ausströmten, sondern dass diese an Ort und Stelle, wo sie sichtbar würden, durch die actinischen Strahlen der Sonne aus den Dämpfen einer in höchst geringer Menge durch den Weltraum verbreiteten Substanz solcher Art, wie er sie in den erwähnten Versuchen gebraucht hatte, niedergeschlagen seien. Die Möglichkeit eines solchen Niederschlags erklärt er durch die weitere Annahme,

Digitized by Google

dass der Kern des Kometen von einer Dunsthülle umgeben sei (die übrigens selbst das Material für actinische Wolkenbildung enthalten muss), welche die wärmenden Strahlen der Sonne in stärkerem Maasse absorbire, als die actinischen.

Wenn man nun, erstaunt über die strenge Verurtheilung von Herrn Tyndall's wissenschaftlichem und sittlichem Charakter, wozu die Berechtigung hauptsächlich aus seiner Kometentheorie hergeleitet werden soll, nachsieht, was sein Gegner eigentlich an dieser zu tadeln hat, so findet man zunächst (S. 171 und an mehreren anderen Stellen) die Behauptung, schon im Voraus sei die Tyndall'sche Theorie durch Olbers' und Bessel's Arbeiten widerlegt. „Denn das für eine physische Theorie der Kometen „wesentliche Resultat jener beiden Arbeiten reducirt sich einfach „auf den Inhalt des folgenden Satzes: Die Dunsthüllen und „Schweife der Kometen bestehen aus discreten Thei„len, welche sich unter dem Einfluss der Repulsiv„kraft der Sonne und des Kernes nach bekannten „mechanischen Gesetzen bewegen.“ Nun liegt es in der Natur der Sache, dass die genannten beiden Astronomen besten Falls nichts anderes bewiesen haben können als dieses: „Die Dunsthüllen und Schweife der Kometen zeigen eine Form und Lage, wie sie entstehen würde, wenn diese Hüllen aus discreten Theilchen gebildet wären, welche u. s. w.“ Das kann doch offenbar Niemanden hindern, die Frage zu stellen, ob nicht auch durch eine andere Voraussetzung die Form und Lage der Schweife erklärt werden könne! Von den Beobachtungsthatsachen beabsichtigt Herr Tyndall keine zu leugnen; dass aber die Schweiftheilchen des Kometen vom Kerne ausgeströmt seien, ist nicht Beobachtungsthatsache, sondern Hypothese. Ich will gar nicht leugnen, dass auch ich Bessel's Hypothese für einen glücklichen Griff halte und für diejenige, welche unter allen bisher aufgestellten Hypothesen über die Kometenschweife am meisten geleistet hat. Aber man vergesse doch nicht, dass über ihre Uebereinstimmung mit den Thatsachen auch ein Deutscher, der als Anhänger jener Hypothese und als sachverständiger und selbständiger Beobachter jedenfalls Vertrauen verdient, nämlich Herr Winnecke, sich nur mit der vorsichtigsten Zurückhaltung (s. Zöllner, Ueber die Natur der Kometen. S. 272) ausdrückt.

Von Jemandem, der in der Erkenntnisstheorie sich selbst einigen der ausgezeichnetsten Naturforschern so überlegen dünkt,

Digitized by Google

wie es Herr Zöllner thut, hätten wir eine sorgfältigere Scheidung dessen, was bewiesen, und dessen, was nur Hypothese ist, wohl erwarten dürfen.

Obgleich Herr Zöllner anfangs erklärt hat, dass nach den Arbeiten von Bessel eine Widerlegung der Tyndall'schen Hypothese nicht nöthig sei, hat er doch auch eine solche zu geben versucht, um sie zu einer „moralischen Vivisection" zu benutzen, wie er selbst sein Verfahren zu bezeichnen liebt. Ich übergehe eine etwas pedantische Berechnung, welche darthun soll, dass Tyndall vier Hypothesen gemacht habe, um zwei Thatsachen zu erklären, gegen welche Rechnung sich mancherlei einwenden liesse, auf die indessen der Leser schwerlich viel Gewicht legen wird. Die Hauptsache ist, dass von diesen vier Hypothesen, wenn Tyndall sie wirklich gemacht hätte, oder zu Gunsten seiner Theorie machen müsste, gewisse Punkte der dritten, und die vierte allerdings physikalisch unzulässig sein würden.

In Bezug auf die dritte Hypothese, wonach die calorischen Strahlen stärker als die actinischen in der hypothetischen Dunsthülle des Kometenkopfes absorbirt werden, klagt Herr Zöllner den englischen Autor an, übersehen zu haben, dass die actinisch wirksamen Strahlen, wo sie eine Wirkung ausübten, nothwendig ebenfalls absorbirt werden müssten. Hätte sich Herr Zöllner, ehe er das Messer zur Vivisection anzusetzen eilte, wenigstens die Mühe genommen, das Capitel des Buches durchzulesen, welches die von seinem Opfer neu entdeckten Erscheinungen beschreibt, und als dessen Anhang die darauf gebaute Kometentheorie abgedruckt ist, so würde er gefunden haben, wie Herr Tyndall in §. 744 dieses Capitels die fragliche Absorption selbst beobachtet und durch Versuche nachgewiesen hat!

Ausserdem hat Letzterer gar nicht behauptet, dass die kurzwelligen actinischen Strahlen die Dunsthülle des Kometenkopfes ganz unvermindert durchliefen, sondern nur, dass sie weniger absorbirt würden, als die langwelligen calorischen Strahlen. Dass übrigens viele Dünste calorische Strahlen selbst bei hohen Verdünnungsgraden ausserordentlich stark absorbiren, hat er anderweitig in mannigfaltig abgeänderten Versuchen gezeigt.

Dadurch erledigt sich nun auch die angebliche vierte Hypothese, die Herr Zöllner aufzählt, es müsse sich nämlich „der „actinischen Wirkung des Lichts gegenüber Kern- und Halb„schatten eines absorbirenden Mediums umgekehrt wie jeder

Digitized by Google

„anderen Wirkung des Lichts gegenüber verhalten, die von Intensitätsunterschieden abhängig ist.“ Er behauptet dies, weil in den Kometenschweifen nicht der Kernschatten den dichtesten Nebel enthält, sondern dessen Umfang, wo der Halbschatten liegt. Sobald aber die Dunsthülle die actinischen Strahlen überhaupt absorbirt, wenn auch weniger als die dunkeln Wärmestrahlen, so könnten dennoch beide Arten von Strahlen vollständig absorbirt sein, ehe sie die Dunsthülle längs eines ihrer Durchmesser durchstrahlt hätten, und würde alsdann der Niederschlag in dem Centrum des Schattens fehlen, wie es in der Regel der Fall ist.

Jedenfalls muss ich behaupten, dass die physikalischen Annahmen der Tyndall'schen Hypothese in keiner Weise als unsinnig oder unzulässig bezeichnet werden können, und also auch in keiner Weise das Recht geben, den wissenschaftlichen Charakter der Arbeiten ihres Autors zu verdächtigen; im Gegentheil scheint mir unzweifelhaft, dass eine solche Hypothese wohl im Stande wäre, das Auftreten von nebligen Massen zu erklären, die in Form und Lage den Schweifen mancher Kometen ziemlich ähnlich wären, und wie diese einen rundlichen Kopf und kegelförmigen Schweif, letzteren am Umfang heller als in der Mitte hätten. Aber, dass diese nebligen Schattenkegel eine strenge Confrontation mit allen beobachteten Kometen oder genauen Abbildungen derselben aushalten würden, scheint auch mir zweifelhaft. Ich selbst möchte daher keineswegs die Tyndall'sche Hypothese als besonders wahrscheinlich empfehlen. Herr Zöllner hat immerhin einige Punkte angerührt, die zwar nicht die Unsinnigkeit oder Unmöglichkeit derselben erweisen, aber doch Zweifel gegen ihre Wahrscheinlichkeit erregen. Nämlich, erstens müsste die Nebelhülle des Kometen in ihren Hauptumrissen die Form der absorbirenden Dunsthülle des Kerns und ihres Schattenkegels haben. Wenn man nun genaue Abbildungen von Kometen, wie sie auch Herr Zöllner in seinem Buche zusammengestellt hat, betrachtet, so sind in der That manche dabei, die man sich nicht als Schattenkegel einer ihren vorderen Theil ausfüllenden Dunstmasse vorstellen kann. Bald sind die Schweife zu stark seitwärts gerichtet, bald anfangs schmal und in grösserer Entfernung sich fächerförmig entfaltend u. s. w. Ich halte es für unwahrscheinlich, dass solche Formen durch irgend welche Annahmen über verschiedene Stärke der Absorption für die verschiedenen Theile des Sonnenspectrums in verschiedenen Theilen jener Dunsthülle und der actinischen Wolke erklärt werden

Digitized by Google

könnten. Aber definitiv entscheiden kann darüber vielleicht erst eine genaue mathematische Discussion des Ganges der Lichtstrahlen.

Zweitens steht die physikalische Annahme, dass die actinischen Strahlen von den niederzuschlagenden Dämpfen, die sie schon auf dem Wege von der Sonne bis zum Kometen passirt haben, erst da absorbirt werden, wo der Mangel an calorischen das Entstehen des Niederschlags erlaubt, und nicht schon vorher, so viel ich weiss, ohne Analogie unter den bisher beobachteten physikalischen Thatsachen da, und ist mit der übrigens sehr wahrscheinlichen Theorie des Mitschwingens der Molekeln bei den Erregungen durch Lichtoscillationen schwer zu vereinigen. Ich würde mich also ohne den thatsächlichen Nachweis, dass dieses Verhältniss bei irdischen Körpern vorkommt, bedenken jene Annahme zu machen. Indessen ist Herr Tyndall unter den Physikern Europas bei Weitem der beste Kenner gerade dieser Verhältnisse, und er wird am besten im Stande sein, herauszufinden, ob so etwas möglich ist. Auch diese Annahme mag für unwahrscheinlich erklärt werden; unmöglich oder widersinnig kann man sie nicht nennen. Wenn nun gegen den sachlichen Inhalt der langen Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten und populären Darstellungen, die Herr Tyndall veröffentlicht hat, nichts weiter vorzubringen ist, als dass er bei einem gelegentlichen astronomischen Excurse nicht die Kenntnisse eines Astronomen gezeigt haben mag, so scheint mir, ist kein Recht da, ihm den Vorwurf wissenschaftlicher Leichtfertigkeit ins Gesicht zu werfen; wenigstens Herr Zöllner würde sehr wohl gethan haben, ehe er es that, an die Parabel vom Splitter und vom Balken zu denken.

Was dann den zweiten Hauptvorwurf betrifft, nämlich den der Eitelkeit, so sind dabei glücklicher Weise keine langen Auseinandersetzungen nöthig, da der Leser in den Tyndall'schen Büchern die Corpora delicti vor sich hat, und vollkommen im Stande ist, sich selbst ein Urtheil zu bilden. Ich glaube, dass Herr Tyndall demselben ruhig entgegen sehen kann.

Uebrigens ist es unmöglich einen Gelehrten, einen Schriftsteller oder überhaupt irgend einen Mann, der für ideelle Zwecke arbeitet, vor dem Vorwurf der Eitelkeit solchen Leuten gegenüber zu schützen, die kein Verständniss für jene Zwecke haben. So ist auch Herrn Zöllner's Hauptbeweis für die Eitelkeit des englischen Autors immer wieder der Umstand, dass dieser popu-

Digitized by Google

läre Vorlesungen hält, und zwar oft und gern, und dass er dabei grossen Beifall findet. Nach Herrn Zöllner's Ansicht kann sich ein Mann, der zu originaler wissenschaftlicher Arbeit fähig ist, jener Beschäftigung aus keinem anderen Beweggrunde als aus Sucht nach Ruhm oder nach Gelde hingeben, und der Beifall, den der Redner etwa findet, muss nach der Vorstellung unseres Kritikers unwiderstehlich moralische Verderbniss herbeiführen.

Ich will durchaus nicht leugnen, dass hier eine Gefahr besteht, und populäre Vorlesungen, namentlich vor einem Publicum, was noch nicht viele gehört hat, von geschickten Phrasenmachern leicht zu persönlichen Zwecken missbraucht werden können. Aber abusus non tollit usum, und ich kann auch hier den Beweis a priori, von der Möglichkeit schlimmer Wirkungen auf ihre Wirklichkeit, nicht zulassen.

In der That hat sich Herr Zöllner bemüht, den Beweis auch a posteriori durch zwei Beispiele aus Herrn Tyndall's Büchern zu vervollständigen (auf Seite LV der Einleitung und Seite 224). Die eine dieser Stellen kommt in der Gedenkschrift auf Faraday vor, bei der Beschreibung von Tyndall's letztem Zusammentreffen mit seinem grossen Vorgänger und Freunde kurz vor dessen Tode: „Es war mein Streben und mein Wunsch, „die Stelle Schiller's bei diesem Goethe einzunehmen: und „er war zu Zeiten so freudig und kräftig, körperlich so rüstig „und geistig so klar, dass mir oft der Gedanke kam, auch er „werde, wie Goethe, den jüngeren Mann überleben.“

Unsere Väter und Grossväter pflegten, wenn sie von ihren Freundschaften redeten, sich wohl gelegentlich mit Orestes und Pylades zu vergleichen. Es ist ihnen dabei schwerlich je in den Sinn gekommen, sich damit auch die übrigen Eigenschaften gepriesener Heroen beilegen zu wollen. Wenn also Herr Tyndall sich und seinen älteren Freund, als zwei in gleicher geistiger Arbeit eng verbundene Männer in Bezug auf das frühere Sterben des einen oder andern mit den beiden deutschen Dichtern vergleicht, so scheint mir dies noch nicht im Entferntesten die Deutung zu berechtigen, als wolle er für sich selbst damit die geistige Bedeutung Schiller's in Anspruch nehmen. Ausserdem ist zu bemerken, dass wir einen Dichter, der in fremder Sprache geschrieben hat, zwar bis zu einem gewissen Grade verstehen und bewundern können, aber doch kaum je ein so unmittelbares Gefühl seiner Grösse haben werden, wie die, welche seine Sprache

Digitized by Google

reden. Dies sind so nahe liegende und einfache Ueberlegungen, dass ich mich geschämt haben würde, sie etwa in einer Anmerkung zu der betreffenden Stelle den Lesern der Uebersetzung, die ich mir als verständige Leute vorgestellt habe, aufzutischen. Herr Zöllner freilich behauptet: „Wenn man solche Stellen „kritiklos in deutschen Uebersetzungen wiedergiebt, so verletzt „man dadurch den gesunden Sinn unseres Volkes, und gewöhnt „es an die Betrachtung von Reden und Handlungen einer bis „zur Carricatur getriebenen Eitelkeit, wie sie nur als Krankheits-„symptome bei einem Volke auftreten können, welches, von der „Höhe des Newton'schen Zeitalters gesunken, mit Riesenschritten „seinem wissenschaftlichen Verfalle entgegeneilt u. s. w."

Das zweite Beispiel ist aus dem Originale des vorliegenden Bandes entnommen, und betrifft den Bericht über die spiritistische Sitzung (Seite 550 bis 564), welcher Herr Tyndall beigewohnt hat. Ich setze Herrn Zöllner's Darstellung derselben wörtlich hierher, sie ist zu charakteristisch für die Art der Polemik, welche er seinen Gegnern gegenüber für erlaubt hält. „In seinem neuen „Buche — beschreibt Professor Tyndall — seine persönliche „Theilnahme am Tischrücken und Geisterklopfen. Die „Geister werden gefragt, unter welchem Namen Herr Tyndall „in der himmlischen Welt bekannt sei. Um das Pochen der „Klopfgeister aber besser beobachten zu können, kriecht Professor „Tyndall unter den Tisch, an welchem sich die übrige Gesell-„schaft der Tischrücker befindet. In dieser unbequemen Position „verharrt Herr Tyndall mehr als eine Viertelstunde. Endlich „werden die Geister wieder gesprächig und bezeichnen Herrn „Tyndall als den „„Dichter der Wissenschaft"". Mit „Rücksicht auf die obige Kniescene meinen die Geister jedenfalls „Schiller."

„Selbstzufrieden kriecht Professor Tyndall wieder aus sei-„nem Versteck unter dem Tische hervor und ruft triumphirend „aus: „„Das also ist das Resultat eines von einem Manne der „Wissenschaften ausgeführten Versuchs, um einen Blick in diese „geisterhaften Phänomene zu thun!"""

Sollte man nicht meinen, wenn man diesen Bericht liest, Herr Tyndall glaube an die Existenz der Klopfgeister und an deren höhere Einsicht, er sei stolz auf die von ihnen vorgebrachte Prophezeiung. Und ich weiss, dass dies der Eindruck gewesen ist, den diese Stelle des Zöllner'schen Buches auf Naturforscher gemacht hat, die den Originaltext nicht kannten, und verwundert

Digitized by Google

fragten, was man davon denken solle. Hier ist kein Wort davon erwähnt, dass Tyndall eine Reihe von Thatsachen anführt, die keinen Zweifel darüber lassen, wie einer der anwesenden Herren und ohne Zweifel auch das „Medium“ wissentlich betrügen, dass das Klopfen aufhört, so lange er selbst unter dem Tische sitzt, und Alles genau beobachten kann, dass die andere Gesellschaft aus kritiklos Gläubigen besteht u. s. w. Wenn also Herr Tyndall schliesslich berichtet, wie diese Menschen, die er als Betrüger erkannt und dem Leser geschildert hat, ihn dadurch zu ködern suchen, dass er als der „Poet of Science“ verkündet wird, so kann er dies doch in keiner anderen denkbaren Absicht beigebracht haben, als um die plumpe und unverschämte Art der Schmeichelei zu charakterisiren, mit der diese Wunderthäter sich ihre Gläubigen zu fangen suchen![1])

So viel über diese Anklagen gegen Herrn Tyndall. Was dem Einen Recht ist, ist dem Andern billig. Herr Zöllner hat die ausgesprochene Absicht gehabt, durch seine Kritik das Vertrauen auf Herrn Tyndall's wissenschaftlichen Charakter zu zerstören. Dass er nicht sehr bedenklich in der Wahl seiner Angriffsmittel war, wird das Vorausgehende gezeigt haben.

Ich kann unter diesen Umständen die Bemerkungen nicht zurückhalten, die sich mir aufdrängten, da ich bei dieser Gelegenheit Herrn Zöllner's eigene Kometentheorie durchzusehen gezwungen war.

Derselbe schliesst sich im Wesentlichen der von Bessel aufgestellten Hypothese an, wonach die Kometenschweife aus Theilchen träger Masse bestehen, die vom Körper des Kometen sich ablösen und von der Sonne abgestossen und fortgetrieben werden. Schon Bessel hat die Vermuthung ausgesprochen, die abstossende Kraft könnte elektrischer Natur sein. Herrn Zöllner's Bestreben ist, eine plausible Hypothese über die Quelle der Elektrisirung aufzustellen und nachzuweisen, dass die von ihm angenommenen elektrischen Kräfte zureichen, um die ungeheuren Geschwindigkeiten hervorzubringen, welche man nach der Bessel'schen Hypothese der Schweifmaterie zuschreiben muss.

---

[1]) (Zusatz 1884). Dies ist, wie in der Vorrede bemerkt, geschrieben, ehe Herr Zöllner sich selbst als Gläubigen des Spiritismus bekannt hatte. Nun hätte er später doch eigentlich Herrn Tyndall als legitimirt durch überirdische Intelligenz anerkennen sollen. Ich habe nie verstanden, wie er seinen Glauben an die Echtheit der Klopfgeister mit der fortgesetzten Polemik gegen Tyndall verbinden konnte.

Digitized by Google

Die Kometen sind nach ihm flüssige Massen, deren Dunsthülle sich unter dem Einfluss der Sonnenwärme „durch einen permanenten Verdampfungs- und Siedeprocess in Form von Blasenentwickelung aus dem Innern von Flüssigkeit erzeugt“ (Seite 112). Nicht aber der Process des Verdampfens soll die Elektricität entwickeln, sondern, wie ganz besonders hervorgehoben wird, nur das mechanische Zerreissen von Flüssigkeitstheilchen. Als Belege werden dann eine Reihe Beobachtungen (genommen aus Riess' Lehre von der Reibungselektricität) angeführt, die von verschiedenen Beobachtern an dem Wasserstaube, der sich von Wasserfällen und Wasserstrudeln losgelöst hat, gemacht wurden.

Wenn nun tropfbares Wasser von tropfbarem Wasser sich trennt, also Gleich von Gleich, warum soll denn dieser Theil positiv und jener negativ elektrisch werden? Bei dem grossen Gewicht, was Herr Zöllner auf vermeintliche logische Fehler der von ihm Angegriffenen legt, muss ich darauf aufmerksam machen, dass diese seine eigene Annahme einen viel entschiedeneren logischen Fehler enthält, als alle die sind, welche ihr Autor bei seinen Gegnern zu entdecken glaubt, indem dieselbe offen den Satz vom zureichenden Grunde verletzt.

In den von Riess citirten Beispielen fehlt es nun allerdings nicht an zureichenden Gründen ganz anderer Art für die Elektrisirung des Wassers, die eine so unlogische Hypothese, wie sie Herr Zöllner hinstellt, vollkommen unnöthig machen. Theile des fallenden Wassers werden gegen die Felsen gepeitscht und durch Reibung oder einen der Reibung ähnlichen Process elektrisirt. Wie wirksam ein solcher sei, zeigt die gewaltige Wirkung von Faraday's Dampfelektrisirmaschine, welche nachweisbar davon herrührt, dass dem Dampf beigemischte Wassertröpfchen gegen das Metall der Ausgangsöffnung geschleudert werden. Zweitens wirkt auf zerstäubendes Wasser die atmosphärische Elektricität vertheilend ein, die losgelösten Tropfen sind isolirt und führen die aufgenommene Elektricität mit fort nach Orten, wo die vertheilende Wirkung der atmosphärischen Elektricität eine andere ist, und die Elektricität des Tropfens ganz oder zum Theil als freie wirkt.

Dass dies letztere nicht nur Hypothese, sondern ein wirklich stattfindender Vorgang sei, zeigt Herrn W. Thomson's Water-dropping collector, ein Instrument, wo durch abtropfendes Wasser die vertheilende Wirkung, sei es der atmosphärischen, sei es anderer benachbarter Elektricität an der Stelle, wo die Tropfen

Digitized by Google

abreissen, gemessen wird. Der Gebrauch dieses Instruments zeigt überdies, wenn dies zu zeigen noch nöthig sein sollte, dass das blosse Abreissen eines Tropfens von einem Wasserstrahl keine mit den empfindlichsten elektrischen Messwerkzeugen wahrnehmbare Spur von Elektricität hervorbringt, und gerade Herr W. Thomson ist es gewesen, der die bedeutendsten Fortschritte in Bezug auf die Empfindlichkeit und Brauchbarkeit der Elektrometer gemacht hat. Im Gegentheil sind die allerschwächsten äusseren elektrischen Einwirkungen auf die sich lösenden Wassertropfen durch die Elektrisirung ihrer selbst und des Gefässes, aus dem sie kommen, leicht zu erkennen. Wäre Herr Zöllner gegen sich selbst eben so streng in seinen Anforderungen über Kenntniss der Literatur, wie er es gegen die Engländer ist, so würde er diese wichtigen Arbeiten, welche sein Thema unmittelbar berühren, wohl besser gekannt haben.

Wir dürfen also wohl behaupten, dass Herrn Zöllner's Hypothese über die Quelle der Kometenelektricität logisch unzulässig, und factisch unrichtig ist.

Dann folgt Seite 114 eine Erklärung des Eigenlichts der Kometen. „Denken wir uns die Zahl der feinen Wassertheilchen „bei gleicher Dichtigkeit der Elektricität an ihrer Oberfläche in „demselben Verhältnisse vergrössert, als die Masse jedes einzelnen „sich verkleinert, so kann die Dicke der elektrisch leuchtenden „Schicht bei constanter Masse des Wassergehalts ausserordentlich „vergrössert, und dadurch die Helligkeit beträchtlich erhöht wer„den u. s. w.“

Jeder Physiker wird sich vielleicht sträuben, diese Stelle so zu verstehen, wie sie schliesslich verstanden werden muss, wenn sie irgend einen Sinn haben soll. Ich finde keine andere Deutung, als die: Herr Zöllner hält die einen elektrisirten Wassertropfen überziehende elektrische Schicht für ein leuchtendes Fluidum. Jede einzelne Schicht dieser Art ist freilich nach seiner Meinung zu schwach leuchtend; wenn aber viele hinter einander liegen bei hinreichender Zertheilung der Wasserstäubchen, dann wird das Licht sichtbar! Wir haben bisher wohl gewusst, dass Elektricität, welche durch Gase oder Dämpfe strömend sich bewegt, ihre Leiter glühend und leuchtend macht. Aber für ihre Strömung durch die Dämpfe des Kometenschweifes hin ist es offenbar ganz gleichgiltig, ob sie von wenigen oder vielen Wassertheilchen ausgegangen ist. Ausserdem ist es nothwendiges Erforderniss der vorgetragenen Theorie, dass die Elektricität an

Digitized by Google

den Theilchen, seien es Tropfen oder Dünste, die sie forttreiben soll, haftet, ohne sie verlassen zu können. Die Meinung aber, dass die an einem elektrisirten Tropfen haftende elektrische Schicht irgend welchen, noch so schwachen Grad des Leuchtens haben könne, ist ein Verstoss gegen das Gesetz von der Erhaltung der Kraft; denn Licht aussenden, heisst Arbeitsäquivalente ausgeben. Und das Gesetz von der Erhaltung der Kraft betrachtet Herr Zöllner doch an anderen Stellen seines Buches als richtig, wenigstens wo er es den von ihm Angegriffenen gegenüber glaubt anwenden zu können.

Dann folgt (S. 121 bis 124) die Rechnung, welche die Hauptschwierigkeit der Bessel'schen Kometentheorie beseitigen und zeigen soll, dass selbst so mässige elektrische Kräfte, wie sie die Elektricität unserer Atmosphäre erzeugt, die ungeheuren Geschwindigkeiten der Kometenschweife hervorbringen können, deren Theilchen einem schon von Newton beobachteten Beispiele zufolge in zwei Tagen 60 Millionen Meilen durchlaufen mussten, wenn der Schweif überhaupt aus solchen, vom Kometen ausströmenden Theilchen zusammengesetzt war. Herr Zöllner unternimmt es zu erweisen, „dass es vollkommen genügt der „Sonnenoberfläche selbst quantitativ nur diejenigen elektrischen „Eigenschaften beizulegen, welche man durch directe Beob„achtungen an der Erdoberfläche nachzuweisen im Stande ist.“

Zu dem Ende wird eine absolute Messung der Luftelektricität benutzt, welche Herr Hankel an einem heitern Nachmittag auf einem Felde bei Leipzig angestellt hat. „Als Einheiten der „Länge, Masse und Zeit nimmt Hankel das Millimeter, das „Milligramm und die Secunde an.“ Und nach Herrn Zöllner's Angabe hat er „die Intensität der Luftelektricität nach absolutem „Maasse gemessen und in den angegebenen Einheiten gefunden „$\varepsilon_1 = 70\,930$, d. h. die bewegende Kraft der Luftelektricität war „an jenem Nachmittag so gross, dass einer kleinen Kugel von „der Masse eines Milligrammes unter dem Einflusse dieser Kraft „in einer Secunde eine mehr als 7 Mal grössere Beschleunigung, „als durch die Schwere ($g = 9809$) ertheilt werden konnte.“

Was Herr Hankel wirklich gemessen hat, hat derselbe vollkommen klar auseinandergesetzt. Sein Resultat[1]) ist, dass die elektrische Anziehungskraft, welche die Luftelektricität an jenem

[1]) Abhandlung der mathematisch-physikalischen Classe der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaft, Bd. III, S. 593.

Digitized by Google

Tage in der Nähe der Erde ausübte, eben so gross war, wie die, welche eine Kugel, geladen mit 70930 Einheiten positiver Elektricität in der Entfernung von einem Meter (!!) ausübt. Da ein Meter gleich 1000 Millimeter ist, die elektrische Kraft umgekehrt dem Quadrat der Entfernung abnimmt, und 1000 Mal 1000 gleich einer Million ist, so hatte die elektrische Kraft an jenem Beobachtungstage den von Herrn Zöllner angegebenen Werth, aber dividirt durch eine Million! Hätten also die Grundlagen der Zöllner'schen Rechnung überhaupt einen richtigen Sinn, so würde das Resultat nicht das sein, dass eine Kugel von $^1/_{100}$ Milligramm unter den Bedingungen, die er annimmt, in zwei Tagen einen Weg von mehr als 70 Millionen Meilen zurücklegte, sondern dass sie überhaupt auf der Sonne liegen bleiben würde, da ihre Schwere dann immer noch 39000 Mal grösser wäre als die elektrische Abstossungskraft [1])!

Ich muss aber noch weiter gehen, und behaupten, dass die Grundlagen der Zöllner'schen Rechnung gar keinen physikalisch richtigen Sinn haben, und auf einem vollständigen Missverständniss dessen beruhen, was Herr Hankel beobachtet hat. Dieser hat allerdings das Milligramm, das Millimeter und die Secunde als die Maasseinheiten seiner Messung zu Grunde gelegt; aber die von ihm gefundene elektrische Kraft ist nicht die, welche auf ein Milligramm schwerer Masse (Luft in der Zöllner'schen Rechnung) wirkt, sondern es ist diejenige, welche auf die Einheit des elektrischen Quantum wirkt. Diese Einheit des elektrischen Quantum ist aber ganz etwas Anderes als das Milligramm, obgleich sie in der von Hankel recipirten Gauss'schen Definition mit einer Beziehung auf das Milligramm festgestellt wird. Sie ist nämlich definirt als dasjenige Quantum von Elektricität, welches in der Einheit der Entfernung (1 Millimeter) das gleiche Quantum mit der Einheit der Kraft abstösst, das heisst mit derjenigen Kraft, welche einem Milligramm schwerer Masse in der Einheit der Zeit (Secunde) die Einheit der Geschwindigkeit (1 Millimeter per Secunde) ertheilt. Die ganze Rechnung, welche Herr Zöllner angestellt hat, würde, abgesehen von dem gerügten Rechnungsfehler, also überhaupt einen Sinn nur dann haben, wenn Herrn Hankel's Versuche gezeigt hätten, dass jedes Milligramm Luft mit der Einheit des

[1]) Nämlich nach den Ansätzen von Zöllner auf S. 123 ist die Schwere auf der Sonne 274 m, die elektrische Kraft 7093 m.

Digitized by Google

elektrischen Quantum beladen gewesen sei. Davon ist aber nicht im Entferntesten die Rede, ja die ganze Beobachtung ist überhaupt gar nicht geeignet irgend welche Elektrisirung der Luft anzuzeigen. Die wirksame Elektricität kann vielmehr ganz und gar dem Erdboden angehört haben; oder vielleicht auch theilweise den Wolken und den verschiedenen Schichten der Atmosphäre; darüber lehrt die Hankel'sche Beobachtung absolut nichts. Nur über die Elektrisirung der Erdoberfläche und der an ihr liegenden leitenden Körper lehrt sie etwas. Am Erdboden selbst musste jede Kreisfläche von 4 Millimeter Durchmesser ein elektrisches Quantum enthalten, welches jenem oben angegebenen Werthe der Kraft gleich war, nämlich (unter Verbesserung des Rechnungsfehlers) 0,07093. Ein Leiter also, der sich von dem so elektrisirten Boden loslöst, könnte elektrisirt sein, und wenn Herr Zöllner diesen Weg, welcher physikalisch berechtigt gewesen wäre, eingeschlagen hätte, so würde er mit Hilfe seines Rechnungsfehlers sogar noch viel staunenswerthere Resultate erhalten haben, als nach der von ihm beliebten Weise.

Ich gebe es auf zu errathen, in Folge welcher Gedankenverbindung Herr Zöllner in das Volumen von einem Milligramm Luft später nur noch $^1/_{100}$ Milligramm zu setzen sich erlaubt, als ob nicht die Luft, sondern die Raumvolumina elektrisch geladen wären.

Unser Kritiker hat später eingesehen, dass etwas in seiner Rechnung nicht in Ordnung war; er erkennt an[1]), dass der erlangte Werth mit „Berücksichtigung einer hierbei willkürlich „vorausgesetzten Constanten noch ausserordentlich reducirt wer- „den muss." Diese „Constante" (!) meint offenbar den Betrag der Ladung jedes Milligramms oder $^1/_{100}$ Milligramms Luft, bestehend in einer Million elektrostatischer Einheiten. Wir wollen die Folgerungen aus dieser allerdings vollkommen „willkürlichen" Voraussetzung nicht weiter untersuchen, und nicht fragen, was geschehen würde, wenn jedes Milligramm Luft seine Nachbarn mit einer Kraft, grösser als die Schwere von tausend Kilogramm, abstiesse. Diese Entschuldigung könnte sonst für Herrn Zöllner am Ende verhängnissvoller werden, als wenn er sich entschlossen hätte frei zu gestehen, er habe bei Ausführung sei-

[1]) Berichte der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaft. 1. Juli 1872.

Digitized by Google

ner Rechnung das Milligramm mit der elektrostatischen Einheit verwechselt. Auch würde das einem Manne, der Anderen gegenüber von so Catonischer Strenge ist, jedenfalls besser angestanden haben, als Ausreden zu machen, die nur Staub aufwirbeln können.

Aehnliche Rechnungsfehler müssen Herrn Zöllner schon öfter begegnet sein; denn er spottet an einigen Stellen seines Buches derer, die den Flug seiner philosophischen Gedanken durch Nachweis von Rechnungsfehlern zu lähmen bemüht wären. Ein besonderes Capitel ist auch gegen die Mathematik gerichtet, welche er ebenfalls als ein Mittel zur Befriedigung der Eitelkeit und zur Abstumpfung des Denkens verdächtigen möchte. Vielleicht überzeugt ihn das vorliegende Beispiel, dass in Bezug auf die Schärfe der Begriffe doch noch Manches von den Mathematikern zu lernen wäre.

Schliesslich ist noch zu erwähnen, dass Herr Zöllner von den Kometen sich Theilchen loslösen lässt, die immer mit derselben Art von Elektricität negativ geladen sind. Dies muss für den einzelnen Kometen Monate lang dauern und die losgelösten Theilchen müssen Billionen von Cubikmeilen des Weltraumes neblig machen. Die nächstliegende Frage jedes Physikers würde sein, wo in diesem Falle die positive Elektricität bleibt. Diese Frage hat Herr Zöllner gar nicht der Mühe werth gehalten auch nur zu erwähnen. Und doch möchte gerade dieser Punkt die ernsthaftesten Schwierigkeiten machen, wenn man die Deduction der Consequenzen einer elektrischen Theorie der Kometenschweife wirklich bis zu Ende führen und nicht da aufhören wollte, wo die Folgerungen anfangen unbequem zu werden.

Ich glaube nicht, dass ich Herrn Zöllner Unrecht thue, wenn ich mein Urtheil dahin zusammenfasse, dass, was in der von ihm vorgetragenen Kometentheorie als richtig und zulässig erscheint, von Bessel herrührt, oder wie der Satz, dass für sehr kleine Massen bei gleichbleibender Dichtigkeit oder bei gleichbleibendem Potential ihrer Elektrisirung die Schwere den elektrischen Abstossungen gegenüber wirkungslos wird, so unmittelbar an Bessel's Annahmen sich anschliesst, dass Jeder, der die physikalischen Verhältnisse sich zu überlegen begann, nicht umhin konnte es zu finden. Was aber Herr Zöllner ausserdem zur Bessel'schen Theorie hinzugethan hat, ist zweifellos falsch. Uebrigens wird die hier gegebene kleine Blumenlese aus wenigen Seiten seines Buches wohl genügen, um dem Leser zu zeigen,

Digitized by Google

was man von der neuen „deductiven Methode“ bei solchen Aufgaben zu erwarten hat, wo es nicht bloss auf geistreiches Plänkeln im Nebellande der Phantasie, sondern auf strenge wissenschaftliche Arbeit ankommt. Diese Beispiele legen um so schlimmeres Zeugniss gegen die Methode ab, die zu ihnen geführt hat, als ihr Autor keineswegs guter Anlagen und Kenntnisse entbehrt, und häufig genug, wo ihn sein Hang zu hastiger Speculation nicht verführte, verdienstliche Arbeiten geliefert hat.

Digitized by Google

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Anleitung zur Durchmusterung des Himmels.

Astronomische Objecte für gewöhnliche Teleskope. Ein Hand- und Hülfsbuch für alle Freunde der Himmelskunde, besonders für die Besitzer von Fernrohren.

Von **Dr. Hermann J. Klein.**

Zweite verbesserte Auflage. Mit 75 Holzstichen, 5 Tafeln, zum Theil in Farbendruck, 4 Sternkarten und 1 Titelbilde. 8. geh. Preis 24 M.

Theoretische Astronomie

von **Dr. W. Klinkerfues,**

Professor, Director der Königl. Sternwarte zu Göttingen.

gr. 8. geh. Preis 9 M.

Die Theorie des Schalles

von **J. W. Strutt, Baron Rayleigh, M. A., F. R. S.**

Früher Fellow of Trinity College, Cambridge.

Autorisirte deutsche Ausgabe übersetzt von

Dr. Fr. Neesen,

Professor der Physik an der vereinigten Artillerie- und Ingenieurschule zu Berlin und Privatdocent an der Universität Berlin.

Mit eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh. Erster Band. Preis 8 M.

Die Geschichte der Physik

in Grundzügen mit synchronistischen Tabellen der Mathematik, der Chemie und beschreibenden Naturwissenschaften, sowie der allgemeinen Geschichte von

Dr. Ferd. Rosenberger.

Erster Theil. **Geschichte der Physik im Alterthum und im Mittelalter.** gr. 8. geh. Preis 3 M. 60 ₰

Zweiter Theil. **Geschichte der Physik in der neueren Zeit.** gr. 8. geh. Preis 8 M.

Vorlesungen

über

einige neuere Fortschritte der Physik.

Von **P. G. Tait.**

Autorisirte deutsche Ausgabe von **G. Wertheim.**

Mit in den Text eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 5 M.

In den Alpen.

Von **John Tyndall,**

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe.

Mit einem Vorwort von Gustav Wiedeman

Zweiter Abdruck. Mit in den Text eingedruckten Holzstichen.

Preis 7 M.

Digitized by Google

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Das Licht.

Sechs Vorlesungen, gehalten in Amerika im Winter 1872—1873 von

John Tyndall,

Professor der Physik an der Royal Institution zu London.

Autorisirte deutsche Ausgabe herausgegeben durch

Gustav Wiedemann.

Mit einem Portrait von Thomas Young und in den Text eingedruckten Holzstichen. 8. geh. Preis 6 M.

Kleine Schriften

von **Hermann Hettner.**

Nach dessen Tode herausgegeben. gr. 8. geh. Preis 10 M.

Das Mikroskop und seine Anwendung

von **Dr. Leopold Dippel,**

ordentlichem Professor der Botanik in Darmstadt.

Zweite umgearbeitete Auflage.

Erster Theil. **Handbuch der allgemeinen Mikroskopie.** Mit Holzstichen und 1 Tafel in Farbendruck. gr. 8. geh. Preis 34 M.

Die mechanische Wärmetheorie.

Von **R. Clausius.**

Zweite umgearbeitete und vervollständigte Auflage des unter dem Titel „Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie" erschienenen Buches.

Erster Band. Entwickelung der Theorie, soweit sie sich aus den beiden Hauptsätzen ableiten lässt, nebst Anwendungen. Mit in den Text eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh. Preis 8 M.

Zweiter Band. Anwendung der der mechanischen Wärmetheorie zu Grunde liegenden Principien auf die Elektricität. gr. 8. geh. Preis 6 M. 40 ₰

Einleitung in die theoretische Physik

von **Victor von Lang,**

Professor der Physik an der Universität Wien.

Mit in den Text eingedruckten Holzstichen. gr. 8. geh.

Erstes Heft: **Mechanik, Schwere, Magnetismus und Elektricität.** Preis 3 M. 50 ₰

Zweites Heft: **Licht.** Preis 3 M.

Drittes Heft: **Feste Körper, Flüssigkeiten, Gase, mechanische Wärmetheorie.** (Schluss.) Preis 3 M. 60 ₰

Substanz und Bewegung.

Von **J. Clerk Maxwell.**

Ins Deutsche übersetzt von **Dr. Ernst v. Fleischl.**

Mit Bewilligung des Autors und der Society for promoting Christian Knowledge.

Zweiter Abdruck. Mit Holzstichen. 8. geh. Preis 1 M. 20 ₰

Digitized by Google

Digitized by Google



3 2044 004 997 623

THE BORROWER WILL BE CHARGED AN OVERDUE FEE IF THIS BOOK IS NOT RETURNED TO THE LIBRARY ON OR BEFORE THE LAST DATE STAMPED BELOW. NON-RECEIPT OF OVERDUE NOTICES DOES NOT EXEMPT THE BORROWER FROM OVERDUE FEES.

WIDENER
NOV 11 1994
NOV 13 1994
CANCELLED

WIDENER
SEP 10 1993
BOOK DUE

WIDENER
FEB 10 1998
BOOK DUE

WIDENER
FEB 4 2001
CANCELLED

WIDENER
SEP 10 1994
MAR 23 1994
BOOK DUE

WIDENER
MAR 23 1994
SEP 10 1994
CANCELLED
BOOK DUE

Digitized by Google

Digitized by Google